



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CAMPUS UFRJ-MACAÉ  
Professor Aloísio Teixeira



LUCAS OLIVEIRA ARAUJO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

MACAÉ  
2018

LUCAS OLIVEIRA ARAUJO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Diego Cunha Malagueta

MACAÉ

2018

LUCAS OLIVEIRA ARAUJO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, como requisito à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Diego Cunha Malagueta

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Diego Cunha Malagueta

---

Prof. Dr. Bruno Soares Moreira Cesar Borba

---

Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

---

Prof. Me. Matheus Ferreira de Barros

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais Zaqueu e Carla, por tudo que me ensinaram e serem a base de minha vida.

À minha eterna companheira Amanda, por toda força nesses anos de graduação e motivação de chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha namorada Amanda, por estar ao meu lado desde o dia que nos conhecemos, me ajudando a superar todas as crises e momentos de cansaço e desânimo nos anos de graduação, com toda sua paciência, carinho e amor.

Aos meus pais, por terem me ensinado todos os valores, me apoiado nas etapas superadas até o momento e sem eles eu nada seria.

Às minhas irmãs Lícia e Camila e meu irmão Hugo, por estarem presentes sempre que as dificuldades vinham à tona.

Ao meu melhor amigo Luís, por todo seu companheirismo e amizade em todos estes anos e ter sido o idealizador deste tema de trabalho de conclusão de curso.

Aos meus companheiros de trabalho Ary, Sávio, Bruno, Pedro, Thaís, Thales e Cíntia, por me fazerem diariamente acreditar em meu potencial nos desafios que me proponho a superar.

Ao meu professor orientador Diego, que acreditou no trabalho e me apoiou na reta final desta etapa da vida.

Aos professores que compuseram esta banca examinadora, pela disponibilidade e atenção dada neste trabalho.

A Deus, por ter dado toda força e persistência necessária para vencer mais um desafio.

“Não devemos ter medo das novas ideias.  
Elas podem significar a diferença entre o  
triunfo e o fracasso”

Napoleon Hill, 1928

## RESUMO

É notório o crescimento do uso de fontes renováveis de energia no Brasil. Dentre as fontes disponíveis, pode-se destacar a energia solar, devido a sua abundante disponibilidade no território brasileiro e seu potencial de aproveitamento, uma vez que ainda se faz uso de energia elétrica para aquecimento de água em residências. Este trabalho tem como objetivo a análise de viabilidade econômica da substituição do uso de chuveiros elétricos pela água aquecida por meio de sistemas de aquecimento solar (SAS), baseando a pesquisa em um edifício residencial, para a qual foram determinadas as variáveis necessárias para análise financeira do projeto. São apresentados tipos, configurações dos sistemas de aquecimento, bem como algumas características e foi determinado o uso de energia elétrica como fonte auxiliar para o SAS. Foi feita uma pesquisa de mercado, com auxílio de informações do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, para coletores solares disponíveis no mercado brasileiro. Após comparação de custo-benefício dos coletores solares mapeados, foi feito o dimensionamento do sistema, levantamento de custos e projeção financeira, mostrando a economia real ao consumidor final. Determinou-se que o sistema tem seu retorno de investimento em 3 anos e 8 meses, sendo economicamente viável ao usuário final.

**Palavras-chave:** Energia solar. Coletor solar. Viabilidade econômica. Edifício residencial.

## ABSTRACT

The growth in the use of renewable energy sources in Brazil is noteworthy. Among the available sources, we can highlight the solar power, due to the abundant availability in the Brazilian territory and its potential of use, since still is made use of electric power for heating of water in residences. The objective of this work is to analyze the economical feasibility of replacing the use of electric showers by heated water using solar heating systems, based on the research in a residential building, for which the necessary variables for the financial analysis of the project were determined. Types, configurations of heating systems, as well as some characteristics were presented and it was determined the use of electric power as auxiliary source for the SAS. A market research was done, with the help of information from the National Institute of Metrology, Quality and Technology, for solar collectors available in the Brazilian market. After comparing the cost benefit of the mapped solar collectors, the system was sizing, costing and financial projection, showing the real economy to the final consumer. It was determined that the system has its return on investment in 3 years and 8 months, therefore economically viable to the final user.

**Keywords:** Solar power. Solar collector. Economical feasibility. Residential building.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Taxa de crescimento de fontes renováveis no mundo de 1990 a 2015. ....	11
Figura 2: Distribuição da fonte de oferta energética mundial. ....	12
Figura 3: Composição da Matriz Elétrica Brasileira. ....	13
Figura 4: Distribuição do consumo diário de eletricidade por eletrodoméstico. ....	15
Figura 5: Gráfico do consumo de energia elétrica no Brasil. ....	15
Figura 6: Fonte de energia utilizada para aquecimento de água de banho. ....	16
Figura 7: Evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares. ....	17
Figura 8: Distribuição percentual do uso do aquecimento solar por setor. ....	17
Figura 9: Coletor solar do século XVIII. ....	23
Figura 10: Esquema de coletor solar de placa plana. ....	25
Figura 11: Coletores parabólicos. ....	26
Figura 12: Coletor a vácuo. ....	26
Figura 13: Esquema de SAS. ....	21
Figura 14: Esquema de sistema passivo direto. ....	27
Figura 15: Esquema de sistema passivo indireto. ....	28
Figura 16: Esquema de sistema ativo direto. ....	28
Figura 17: Esquema de sistema ativo indireto. ....	29
Figura 18: Exemplo de fluxo de caixa. ....	37
Figura 19: Ângulo de inclinação do coletor solar. ....	35
Figura 20: Associação em paralelo de coletores. ....	35
Figura 21: Esquema do edifício de projeto. ....	41
Figura 22: Planta baixa do edifício. ....	42
Figura 23: Área útil do telhado. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: tipos de coletores. ....	24
Tabela 2: modelo de DRE. ....	38
Tabela 3: coletores solares catalogados pelo INMETRO. ....	32
Tabela 4: projeto de estudo. ....	43
Tabela 5: volume de água quente consumido. ....	43
Tabela 6: resultados de área total e preço de coletores para o sistema. ....	46
Tabela 7: resumo do SAS. ....	47
Tabela 8: resumo do consumo de energia elétrica. ....	47
Tabela 9: resumo da economia de energia elétrica. ....	47
Tabela 10: resumo da economia final em dinheiro. ....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CPV – Custos do Produto, Mercadoria ou Serviço Vendido

CSP – Energia Solar Concentrada / *Concentrated Solar Power*

DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar

DNI – Irradiação Direta Normal

DRE – Demonstrativo de Resultados do Exercício

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EPE – Empresa de Pesquisa Energético

ER – Energia Renovável

GEE – Gases de Efeito Estufa

ICMS – Imposto sobre Comercialização de Mercadorias e Serviços

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IEA – *International Energy Agency*

IG – Irradiação global média anual

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IR – Imposto de Renda

ISS – Imposto sobre Serviços

LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda

LAJIDA – Lucro Antes dos Juros, Imposto de Renda, Depreciação e Amortização

LAJIR – Lucro Antes dos Juros e do Imposto de Renda

LFR – *Linear Fresnel Reflector*

NBR – Norma Brasileira

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIS – Programa de Integração Social

PMDEE – Produção média diária de energia específica

PNE – Plano Nacional de Energia

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

SIN – Sistema Interligado Nacional

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TRC – Tempo de Retorno do Capital

VPL – Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>12</b>
1.1.1 Mercado de SAS no Brasil .....	16
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Tecnologias de energia solar</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1.1 Coletores estacionários .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1.1.1 <i>Coletores de placas planas</i> .....	24
2.1.1.2 <i>Coletores parabólicos</i> .....	25
2.1.1.3 <i>Coletores a vácuo</i> .....	26
<b>2.2 Sistemas de aquecimento solar</b> .....	<b>21</b>
2.2.1 Componentes sistemas solares .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.2 Arranjos do sistema.....	27
2.2.2.1 <i>Sistema passivo direto</i> .....	27
2.2.2.2 <i>Sistema passivo indireto</i> .....	27
2.2.2.3 <i>Sistema ativo direto</i> .....	28
2.2.2.4 <i>Sistema ativo indireto</i> .....	29
2.2.2.5 <i>Mercado de equipamentos termossolares no Brasil</i> .....	29
2.2.3 Regulamentação dos Sistemas solares térmicos no Brasil.....	30
<b>2.3 Avaliação econômica do investimento</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.3.1 Fluxo de Caixa .....	36
2.3.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA) .....	38
2.3.3 Valor Presente Líquido (VPL).....	39
2.3.4 Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	39
2.3.5 Tempo de Recuperação de Capital (TRC) .....	39
2.3.6 Análise do Ciclo de Vida.....	39

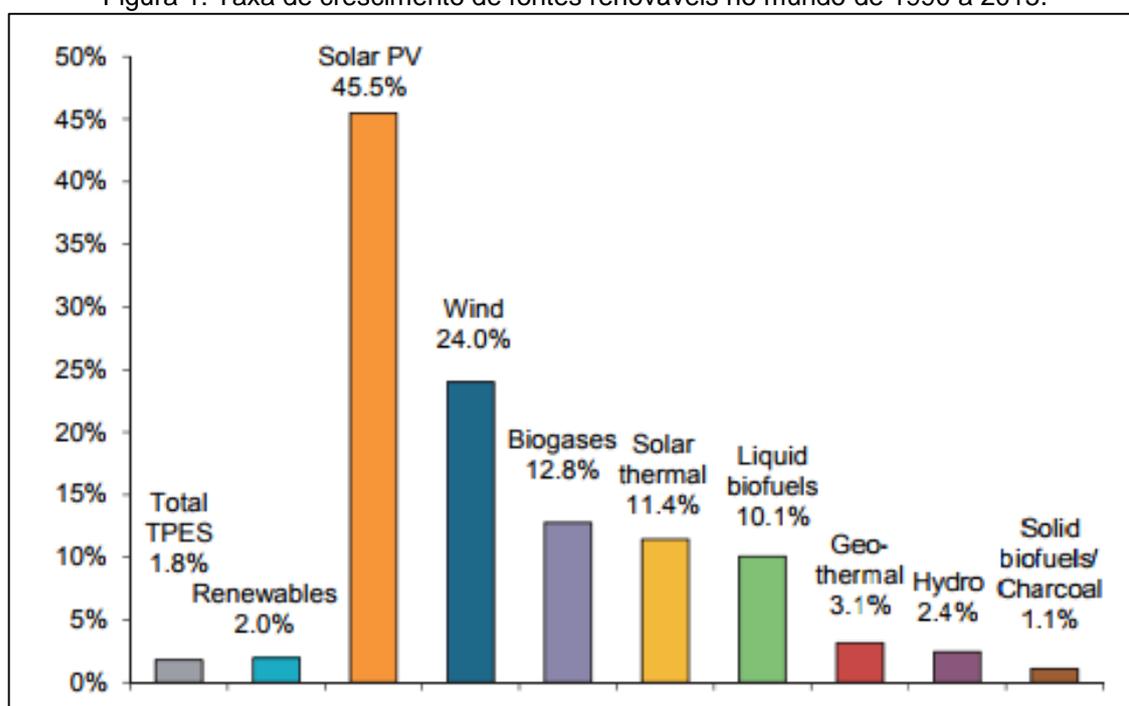
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 NBR 15569 – Anexo B2 .....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Reservatório .....	32
3.1.1.1 <i>Número de pessoas e demanda de água quente.....</i>	<i>33</i>
3.1.1.2 <i>Volume do reservatório armazenador .....</i>	<i>33</i>
3.1.1.3 <i>Cálculo área coletora e demanda energética .....</i>	<i>33</i>
3.1.1.4 <i>Posicionamento e associação dos coletores.....</i>	<i>34</i>
3.1.1.5 <i>Custos do sistema .....</i>	<i>35</i>
<b>3.2 Viabilidade econômica.....</b>	<b>36</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 NBR 15569.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Variáveis financeiras.....</b>	<b>46</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE A – Tabelas de Resultados NBR 15669.....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE B – Fluxo de caixa do projeto .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE C – Planilha de análise financeira .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO A – Mapa de irradiação global anual média .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A modificação dos padrões de vida do homem implicou em uma elevação em seu consumo médio de energia elétrica. A disponibilidade dos recursos não renováveis foi um dos principais fatores contribuintes para o desenvolvimento das nações; recurso cuja exploração é um agravante de severas alterações climáticas do globo terrestre (ABRAVA, 2008). A preocupação com fenômenos de intensificação do efeito estufa (aquecimento global) torna-se intensa, acarretando na urgência pela busca de tecnologias limpas e eficientes. O atual panorama energético no mundo direciona os esforços coletivos para a racionalização do uso de fontes tradicionais de energia, como de combustíveis fósseis.

As fontes renováveis de energia vêm sendo altamente utilizadas em todo o mundo. A Figura 1 ilustra a taxa de crescimento médio anual das fontes renováveis utilizadas no mundo no período de 1990 a 2015.

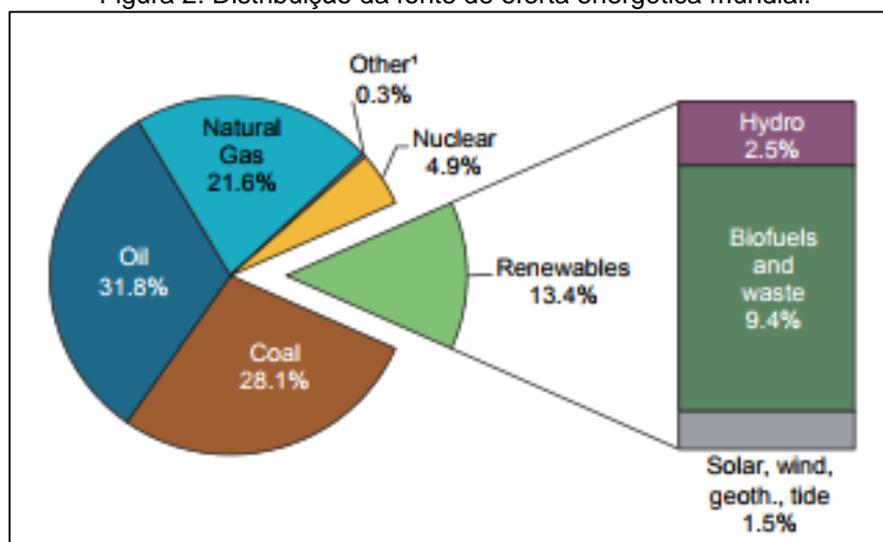
Figura 1: Taxa de crescimento de fontes renováveis no mundo de 1990 a 2015.



Fonte: IEA, 2017.

De acordo com a publicação *Renewables Information: Overview* (IEA, 2017), a oferta de energia no mundo possui parcela de 13,4% de fontes renováveis, conforme visto na Figura 2.

Figura 2: Distribuição da fonte de oferta energética mundial.



Fonte: IEA, 2017.

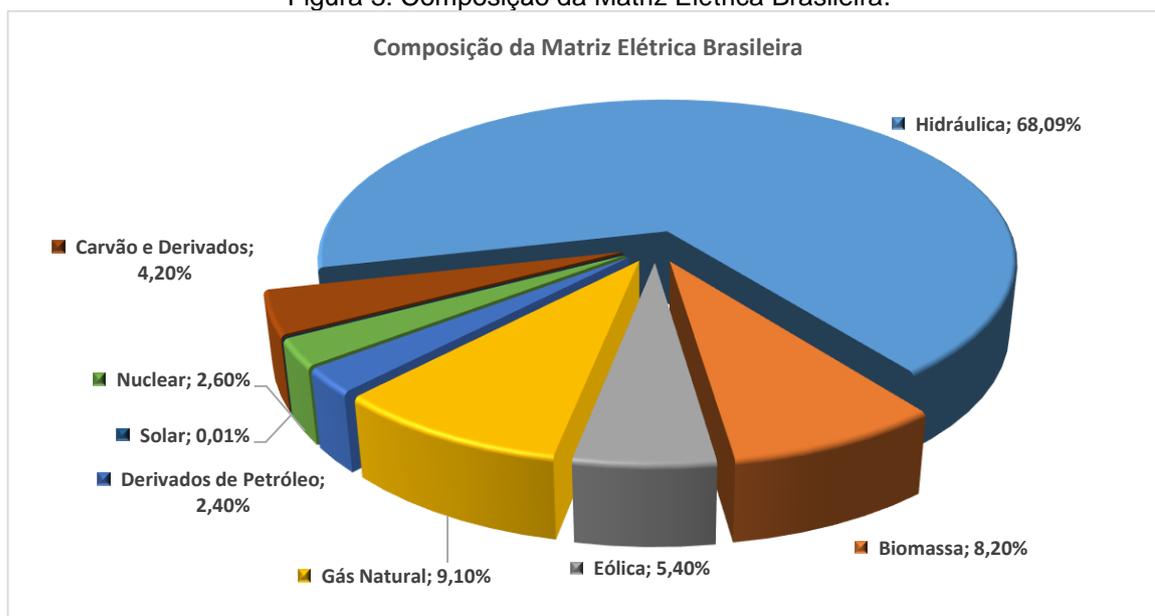
### 1.1 Justificativa

As economias emergentes atualmente centralizam a demanda e o consumo global de energia. Estima-se que até 2035, 90% do aumento da demanda energética será devido a estes países (IEA, 2013). Por conta da descoberta das reservas do pré-sal, o Brasil deve reforçar sua posição de produtor de energia, e conseqüentemente contribuirá, junto com países como China e Índia, para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estima-se que na China, a cada dez dias uma nova planta movida a carvão é inaugurada. (WANG *et al*, 2014). A matriz energética brasileira difere, devido a sua alta parcela de ofertas de energias renováveis e geração de eletricidade (EPE, 2017).

No ano de 2014, o governo brasileiro destinou cerca de US\$ 7,6 bi ao setor de energias renováveis, e manteve-se entre os dez maiores investidores na implantação de fontes de energia renovável (ER). Bancos públicos brasileiros financiam a indústria de ER com baixa taxa de juros, para atingir as metas de expansão destas tecnologias. De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2015), a meta para 2030 do Plano Decenal de Energia é que 28% a 33% da matriz energética (com a exclusão das hidrelétricas) sejam oriundas de fontes renováveis.

Em particular no Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2017), a maior parte da matriz elétrica brasileira consiste da utilização de fontes renováveis, dentre as quais se destacam a hidrelétrica, eólica e biomassa, conforme a Figura 3.

Figura 3: Composição da Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: Adaptado de EPE, 2017.

A geração hidráulica responde por 68,1% da oferta interna de eletricidade, e as fontes renováveis representam um total de 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, considerando a produção nacional e importações, essencialmente de origem renovável. Vale frisar que o Brasil se destaca por ser um dos poucos países cuja matriz elétrica é majoritariamente hidroelétrica, devido às suas características climáticas favoráveis. Entretanto, em época de estiagem este potencial é diminuído, e é necessário recorrer a outras fontes de energia, que no Brasil a mais utilizada é a termelétrica. No intuito de coordenar e controlar os sistemas de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil (e sua sazonalidade), o Ministério de Minas e Energia por meio da resolução 351/98 criou o Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte, e em 2008 concentra aproximadamente 900 linhas de transmissão somando 89,2 mil quilômetros nas tensões de 230, 345, 440, 500 e 750 Kv (EPE, 2017).

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 578,9 TWh em 2016, resultado 0,4% inferior ao de 2015. A geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 19,6% do total nacional, contra 25,9% em 2015. A geração de autoprodutores (APE) em 2016 participou com 17% do total produzido, atingindo um montante de 98,5 TWh. A capacidade total instalada de geração de energia elétrica no Brasil atingiu 150.338 MW (EPE, 2017).

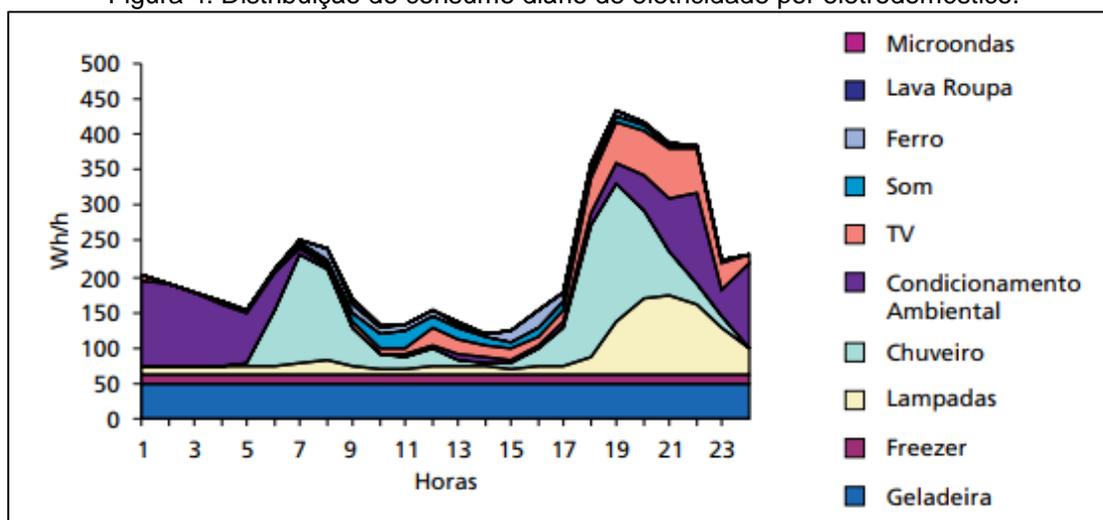
Com vista a embasar políticas públicas energéticas, são demandados à EPE estudos específicos que originam notas técnicas publicadas em seu site, nas quais são discutidos temas como modernização de usinas hidrelétricas, penetração de geração solar, ou ainda opções como regularização sazonal ou plurianual no sistema elétrico nacional (TOLMASQUIM, 2016). Estes estudos embasam o planejamento da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil, tais como o Plano Decenal da Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE).

Devido ao caráter destes estudos, o PNE incorpora mudanças nos ambientes energéticos nacional e mundial, considerando condições como inserção de tecnologias de baixo carbono, armazenamento de energia, exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia, geração distribuída de eletricidade, mudanças climáticas associadas, futuro das políticas globais para biocombustíveis e evolução das energias renováveis (TOLMASQUIM, 2016).

Um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de uma sociedade é seu consumo de energia, por refletir o ritmo de atividades do setor industrial, comércio, serviços, bem como a capacidade de aquisição de bens e serviços tecnologicamente avançados dessa sociedade. (ANEEL, 2008). Esta variável pode ser particularizada no consumo energético em residências, visando a análise de pontos de otimização do uso deste recurso. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2017), o consumo de energia elétrica residencial no Brasil correspondeu a uma parcela de 28,2% do consumo total de energia em 2015, frente a uma parcela de 36,3% no setor industrial.

A Figura 4 ilustra a participação dos eletrodomésticos mais importantes no consumo médio domiciliar no Brasil. Existe em torno de 24% de consumo da energia por parte do chuveiro elétrico, na qual a maior parte é consumida no horário de pico entre 18h e 20h (ELETROBRÁS, 2009).

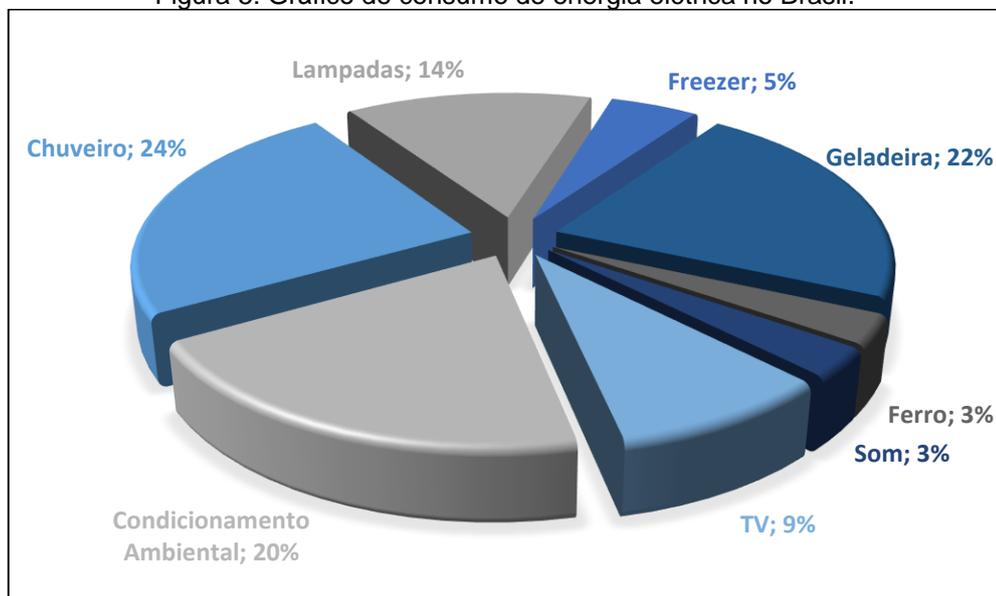
Figura 4: Distribuição do consumo diário de eletricidade por eletrodoméstico.



Fonte: ELETROBRAS, 2009.

Da Figura 4, é possível ver que o chuveiro é o equipamento que possui maior contribuição no consumo energético residencial, seguidos da geladeira e do condicionamento ambiental, com 22% e 20% de parcela no consumo respectivamente (ELETROBRAS, 2009). Estes percentuais são ilustrados na Figura 5.

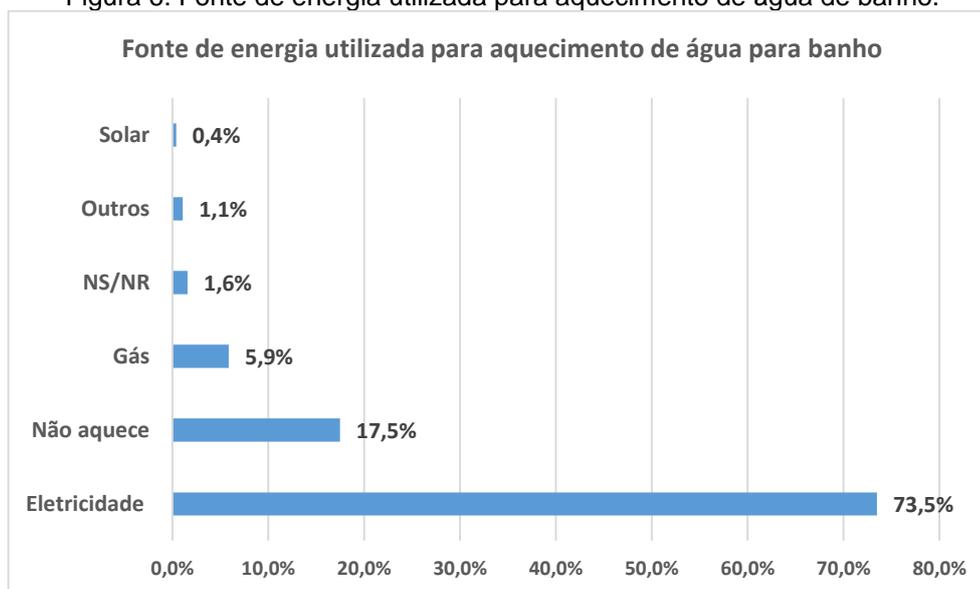
Figura 5: Gráfico do consumo de energia elétrica no Brasil.



Fonte: Adaptado de ELETROBRAS, 2009.

A fonte de energia de aquecimento de água para chuveiro no Brasil é, majoritariamente, proveniente de energia elétrica. A Figura 6 ilustra a parcela de cada fonte no aquecimento de água para banho.

Figura 6: Fonte de energia utilizada para aquecimento de água de banho.



Fonte: Adaptado de ELETROBRAS, 2007.

Avaliando o percentual de 73,5% proveniente de energia elétrica, é possível concluir que medidas que visem a diminuição do consumo para este fim será de grande influência sobre o consumo residencial, e acarreta em diminuição da demanda de energia elétrica proveniente do SIN. De acordo com Tomé (2014), o consumo ao ano de energia elétrica pelo chuveiro nas regiões Sul e Sudeste do Brasil correspondem a 30% de toda a energia gerada pela Usina Hidrelétrica de Itaipu, sendo 40% no horário de pico entre 18 e 19 horas.

Percebe-se da Figura 6 que existe grande espaço para difusão do uso de energia solar nas fontes de aquecimento de água para banho.

Existem exemplos na cidade do Rio de Janeiro, de condomínios que utilizam o SAS em edificações, como o condomínio Augusto Cesar Cantinho, localizado em Botafogo. Possui 90 apartamentos em 24 pavimentos com cerca de 40 mil litros aquecidos diariamente (SALES, 2017).

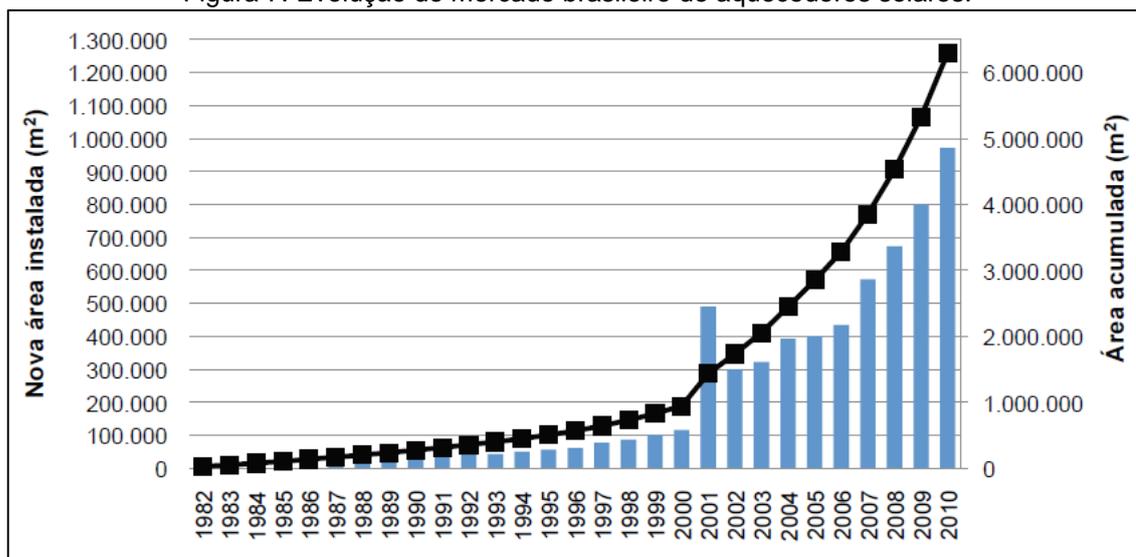
### 1.1.1 Mercado de sistemas de aquecimento solar no Brasil

O início do mercado de aquecimento solar no Brasil se deu na década de 70, devido à crise do petróleo implantada na época. Na década de 80, foi possível constatar especialização no setor com surgimento de empresas dedicadas ao aquecimento de água com energia solar. Na década de 90, foi criado o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol) na Associação Brasileira de Refrigeração, Ar

Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), permitindo maior desenvolvimento e profissionalização do mercado (ELETROBRAS, 2007).

A ABRAVA, por meio de estudos e levantamentos realizados por seu departamento Dasol, evidenciou a evolução histórica do mercado de aquecimento solar entre os anos de 1982 até 2010, conforme visto na Figura 7.

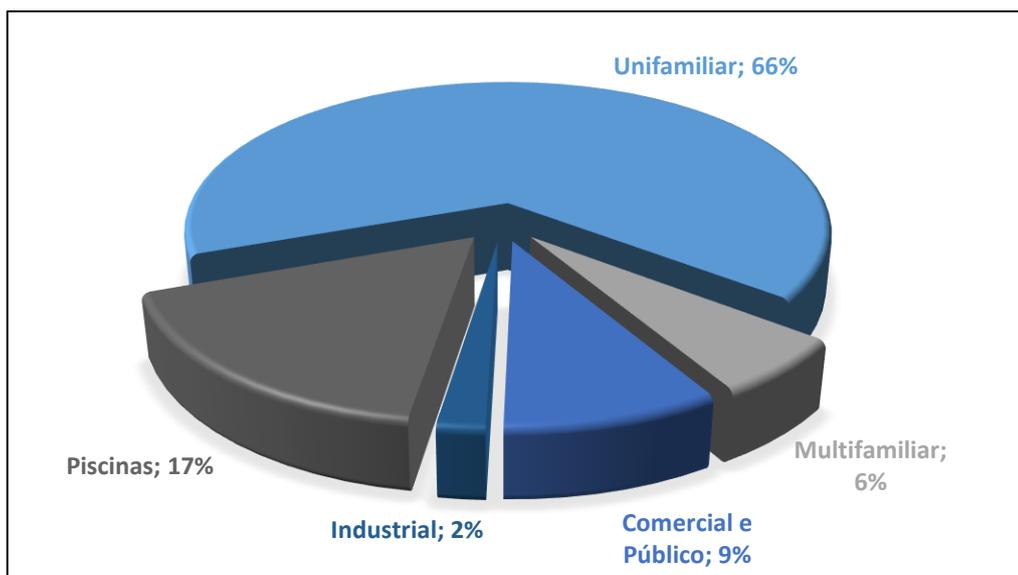
Figura 7: Evolução do mercado brasileiro de aquecedores solares.



Fonte: ABRAVA, 2011, apud ELETROBRAS, 2012.

É possível notar no ano de 2001 um aumento da demanda por tecnologias alternativas aos sistemas elétricos, devido à crise de energia elétrica, com incentivos pontuais para a substituição (DADALTO, 2008). Nas regiões Sul e Sudeste, devido às características climáticas, existe maior concentração dos sistemas de aquecimento de água, sendo aplicada em residências, hotéis, motéis, hospitais, restaurantes industriais, e também no aquecimento de piscinas (ANEEL, 2005). A Figura 8 ilustra a distribuição do uso de aquecimento solar por setor.

Figura 8: Distribuição percentual do uso do aquecimento solar por setor.



Fonte: Adaptado de ABRAVA, 2010.

Batista (2006) analisou a viabilidade econômica da substituição de sistemas convencionais de aquecimentos de água, por sistemas solares em *resorts* da região Nordeste do Brasil. O resultado obtido foi uma economia da ordem de R\$ 7,06 por litro de água quente diariamente, para um projeto com previsão de 20 anos de durabilidade. Salés (2008) fez a mesma análise, para residências unifamiliares no município de Maceió/AL, obtendo economias entre R\$ 1.826,05 e R\$ 5.919,75 por ano (residências de baixa e alta renda, respectivamente) para o investimento feito. Por fim, Santos (2010) fez a comparação entre os custos de aquecimento solar frente ao chuveiro elétrico, obtendo redução de 73,55% do custo anual, e tempo de retorno do investimento de 6 anos e 3 meses.

Diversos arranjos foram estudados de forma a otimizar a eficiência energética dos SAS (Sistemas de Aquecimento Solar). Mohamad (1997) desenvolveu um estudo relacionado a um coletor cujo tanque de armazenamento e coletor solar formam um único conjunto, eliminando necessidade de isolamento extra, canalização de soldas e possuindo construção simplificada. Já Tsilingiris (1997) substituiu a serpentina formada por tubos metálicos por uma lâmina de água escoando em uma bolsa plástica, apontando como principais fatores para o melhor aproveitamento da energia: i) orientação geográfica; ii) ângulo de inclinação com a horizontal; iii) não sombreamento.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade técnico-econômica da utilização de um SAS como fonte principal de aquecimento de água em um edifício residencial, fazendo um comparativo com a energia elétrica, fonte tradicional de aquecimento.

Para tanto, o trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- a) Dimensionar um sistema por meio da metodologia prevista pela NBR 15569;
- b) Comparar os resultados obtidos para diversos tipos de coletores solares;
- e
- c) Determinar o desempenho dos sistemas e economia na conta de energia elétrica, gerada pela substituição dos sistemas convencionais de aquecimento.

Para este trabalho não será levado em consideração valor residual de projeto, assumindo que será descartado sistema ao fim de sua vida útil, ou mantido para posterior doação para fins acadêmicos.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Para o desenvolvimento deste trabalho, a estrutura será composta por 6 capítulos. Inicialmente, apresenta-se a introdução ao assunto, justificando e argumentando sobre a problemática a ser estudada, enunciando os objetivos específicos.

No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica dos fundamentos necessários para compreensão do trabalho. Será abordada a situação energética do Brasil, apresentadas algumas tecnologias de energia solar bem como o potencial brasileiro para explorar esta fonte renovável. Por fim, serão expostos conceitos financeiros necessários para avaliação econômica do investimento feito.

No capítulo 3 será apresentada a metodologia utilizada para o dimensionamento do sistema solar proposto, bem como apresentada a metodologia para a análise de viabilidade econômica.

No capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para o sistema de aquecimento solar, para no capítulo 5 ser feita a análise de viabilidade

econômica. Finalmente, encerra-se no capítulo 6, apresentando as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

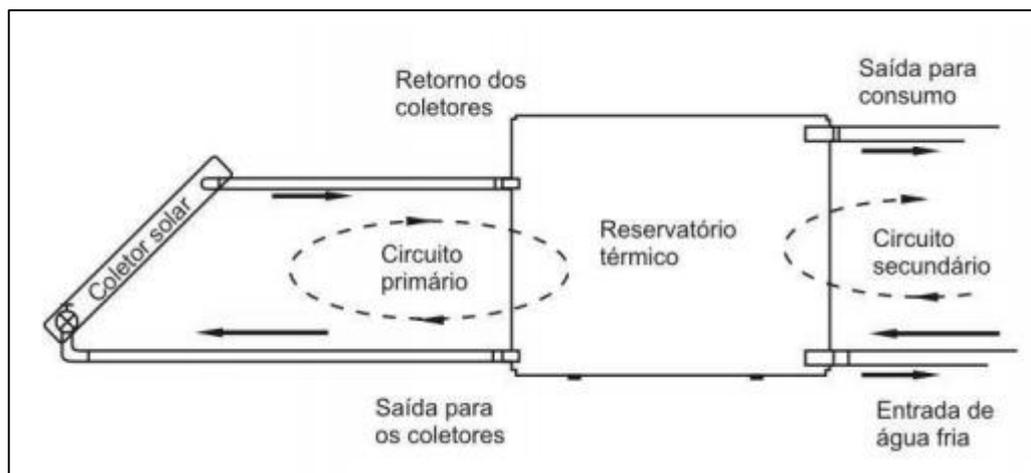
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia solar é a fonte de energia mais antiga utilizada pela humanidade. Estima-se que o sol forneça em torno de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia para a atmosfera terrestre (LUQUE & HEGEDUS, 2003). Vale mencionar que o Sol é responsável pela maior parte das fontes diretas e indiretas de energia, uma vez que a irradiação solar incide e é captada por sistemas fotovoltaicos e para secagem de produtos agrícolas, e atua também aquecendo massas de ar que são transportadas (energia eólica), provocando evaporação de águas que culminam com a precipitação, viabilizando energia hidrelétrica e para o desenvolvimento de plantas e animais, que possibilitaram o surgimento de petróleo, carvão e gás natural (MALATE, 2015). Dentre poucas fontes energéticas não oriundas do Sol, pode-se citar a energia maremotriz (proveniente da força gravitacional lunar) e a geotérmica (proveniente da energia do núcleo terrestre). Entretanto, apesar de que os prospectos de tecnologias de energias renováveis se tornarem competitivos são bons, as condições atuais de mercado não são favoráveis para torná-las economicamente viáveis. Companhias privadas dificilmente despenderiam recursos financeiros devido aos distantes benefícios do investimento, bem como os custos nivelados de energia elétrica desta fonte não seriam significativamente inferiores aos de fontes tradicionais (KALOGIROU, 2009).

### 2.1 Sistemas de aquecimento solar

De acordo com a ABNT NBR 15569:2008, um sistema de aquecimento solar (SAS) pode ser um sistema composto por coletores solares, reservatórios térmicos, aquecimentos auxiliares, acessórios e suas interligações hidráulicas, que funciona por circulação natural ou forçada. A Figura 9 ilustra o esquema de um SAS convencional.

Figura 9: Esquema de SAS.



Fonte: ABNT, 2008.

O fluido que circula no coletor fornece seu calor para a água do tanque de armazenamento, e retorna ao coletor.

Os componentes de um sistema solar de aquecimento de água convencional são os seguintes:

- a) Reservatório térmico: tanques utilizados para armazenar a água proveniente do coletor solar, para atender a demanda de consumo fora dos horários de incidência de irradiação. São geralmente construídos em aço inoxidável ou cobre termicamente isolados, conforme ABNT NBR 10185:88;
- b) Coletor Solar: responsável por absorver a energia solar, transferindo-a para o fluido de trabalho, conforme ABNT NBR 10184:88;
- c) Fonte auxiliar de energia;
- d) Interligação do coletor solar com o reservatório;
- e) Sensores, controladores e quadros de comando;
- f) Isolamento térmico e acabamentos; e
- g) Interligação com sistema de aquecimento auxiliar.

A documentação de um projeto de SAS deve contemplar as premissas de cálculo, dimensionamento, fração solar, memorial descritivo, volume de armazenamento, pressão de trabalho, fontes de abastecimento de água, área coletora, ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares, estudo de sombreamento, previsão de dispositivos de segurança, massa dos principais componentes, considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água, localização, indicação do norte geográfico, desenho, esquema, especificação de coletores e reservatórios, de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba, tipos e localização de suportes e especificação do sistema de aquecimento auxiliar. Deve ser feita inspeção

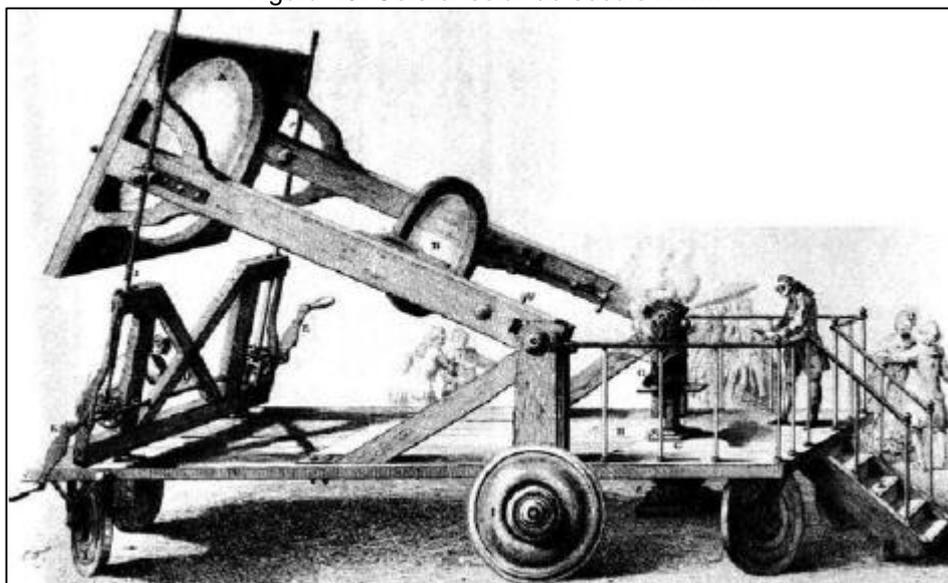
visual e verificação de falhas e vazamentos pré e pós instalação e entrega. (ABNT NBR 15569, 2008)

Diversos tipos e modelos de sistemas de aquecimento solar encontram-se no mercado, com características específicas para aplicações prediais. Em função de sua aplicação, cada coletor possui uma série de características específicas para serem definidas conforme o uso pretendido. Os coletores solares devem ser resistentes às condições exteriores e eficientes na conversão da energia compatível com o uso.

### 2.1.1 Coletores Solares

O aproveitamento da energia solar por meio de coletores, apesar de sua difícil operacionalidade em aspectos técnicos, foi o meio mais utilizado de exploração deste recurso. No século XVIII, fornos solares capazes de fundir ferro, cobre e outros metais foram construídos usando ferro polido, espelhos e lentes de vidro (KALOGIROU, 2009). A Figura 10 ilustra um forno solar usado por Lavoisier, em 1774. Diversas variações dos coletores solares foram projetadas e construídas nos últimos 50 anos, para aquecer fluidos de trabalho de diversos equipamentos mecânicos.

Figura 10: Coletor solar do século XVIII.



Fonte: KALOGIROU, 2009.

O coletor solar é um trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor. É um dispositivo concebido para absorver a maior quantidade possível de

irradiação solar, e transferir a maior parte desta irradiação para um determinado fluido (DUFFIE e BECKMAN, 2006). Nas aplicações de aquecimento de água para fins residenciais e baixas temperaturas, a energia solar coletada é carregada diretamente para a água quente ou tanque térmico, do qual a água pode ser utilizada. (KALOGIROU, 2009). São vendidos em módulos que podem ser acoplados entre si conforme a necessidade de energia de aquecimento.

Os coletores podem ser de dois tipos: concentradores e não concentradores (estacionários). Os concentradores são adequados para aplicações que demandem elevadas temperaturas (em geral acima de 200 °C). Na Tabela 1 são listados os tipos de coletores solares e algumas de suas características.

Tabela 1: Tipos de coletores.

Movimento	Tipo de Coletor	Tipo de Absorvedor	Taxa de Concentração	Faixa de Temperaturas (°C)
Estacionário	Coletor de placas planas	Plano	1	30 - 80
	Coletor a vácuo	Plano	1	50 - 200
	Coletor parabólico	Tubular	1 - 5	60 - 240
Rastreador – 1 eixo		Tubular	1 - 5	60 - 300
	Refletor Fresnel Linear	Tubular	10 - 40	60 - 250
	Coletor cilíndrico	Tubular	15 - 50	60 - 300
	Calha parabólica	Tubular	10 - 85	60 - 400
Rastreador – 2 eixos	Disco parabólico refletor	Ponto	60 - 200	100 - 1500
	Torre Solar (Heliostatos)	Ponto	300 - 1500	150 - 2000

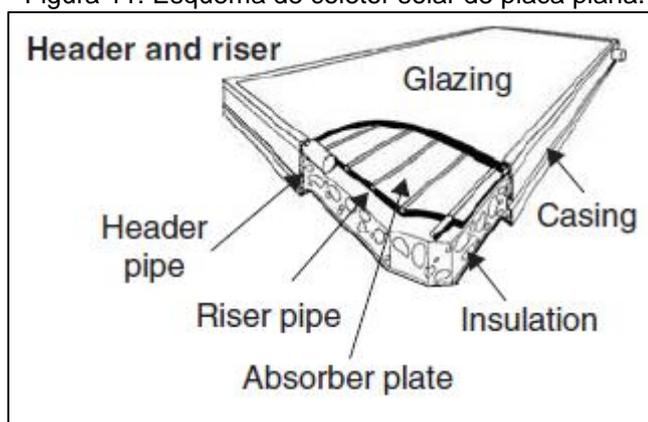
Fonte: KALOGIROU, 2009.

#### 2.1.1.1 Coletores de placas planas

O arranjo de um coletor solar de placas planas pode ser visto na Figura 11. A irradiação solar atravessa uma cobertura transparente, incidindo sobre uma superfície

negra absorvedora, retendo parte da energia incidente, que é transferida para o fluido das tubulações. A capa transparente é utilizada para minimizar perdas de radiação. A energia solar incidente possui frequência ultravioleta, sendo capaz de atravessar a capa transparente, mas é retida pela superfície negra. Por sua vez, a energia emitida pela superfície possui frequência infravermelha e a superfície transparente é opaca para esta energia, retendo parte desta energia, minimizando as perdas (KALOGIROU, 2009).

Figura 11: Esquema de coletor solar de placa plana.



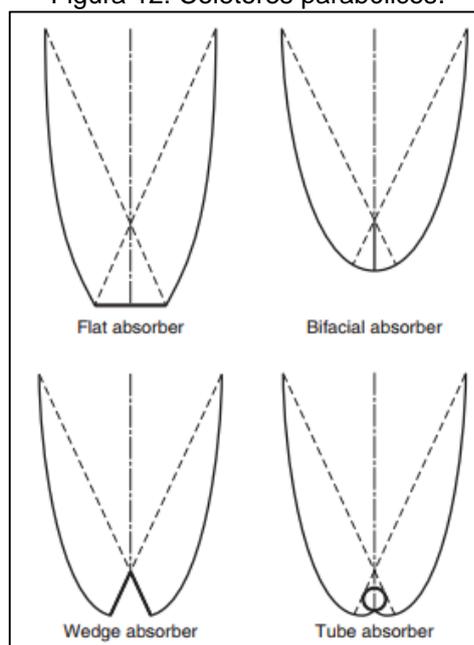
Fonte: KALOGIROU, 2009.

As vantagens deste tipo de coletor são que possui baixo custo de manufatura, coletam ambas as radiações difusas e normais, e por ser fixo, o rastreamento solar não é necessário. Os coletores devem estar orientados para a linha do equador (KALOGIROU, 2003).

#### 2.1.1.2 Coletores parabólicos

Coletores parabólicos são capazes de absorver irradiação incidente em uma faixa ampla de ângulos. Por meio de múltiplas reflexões internas, qualquer irradiação incidente na abertura alcança o tubo absorvedor no fundo do coletor. Este tipo de coletor pode possuir quatro formas diferentes, conforme ilustrado na Figura 12: plano, bifacial, cunha ou cilíndrico. (KALOGIROU, 2009).

Figura 12: Coletores parabólicos.

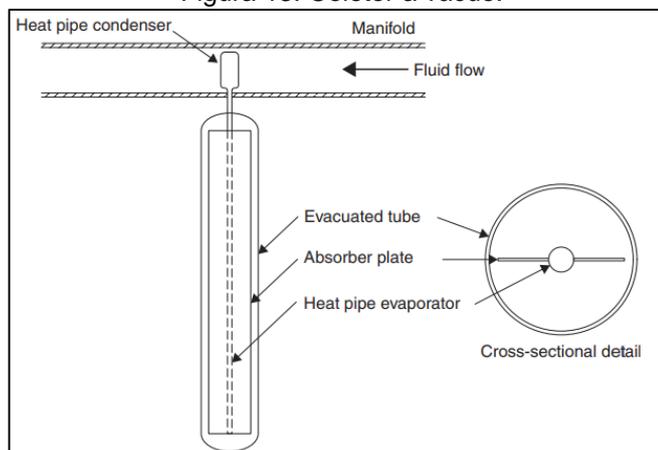


Fonte: KALOGIROU, 2009.

### 2.1.1.3 Coletores a vácuo

Coletores de placas convencionais possuem eficiência altamente reduzida em condições climáticas adversas como chuva, vento e frio, e influências como condensação causam deterioração prematura dos sistemas. Por este motivo, coletores de tubos a vácuo foram desenvolvidos para resultar em bom desempenho nestas condições. O vácuo reduz as perdas térmicas por convecção e condução, permitindo que estes coletores operem em temperaturas maiores do que as dos coletores planos (KALOGIROU, 2009). A Figura 13 ilustra este tipo de coletor.

Figura 13: Coletor a vácuo.



Fonte: KALOGIROU, 2009.

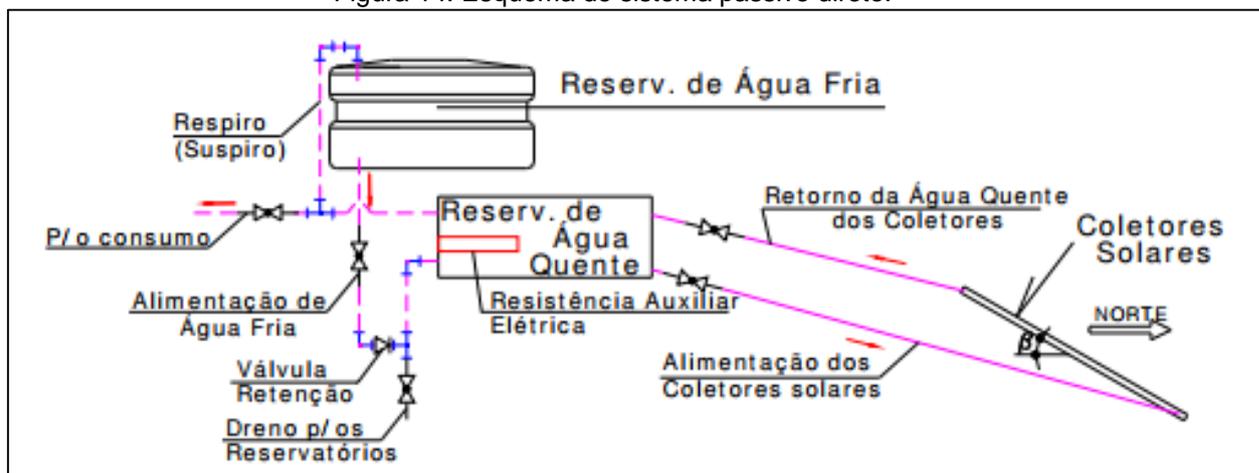
## 2.1.2 Arranjos do sistema

Os sistemas de aquecimento solar possuem diversos arranjos, de acordo com seu princípio de funcionamento em: i) ativo direto; ii) ativo indireto; iii) passivo direto; e iv) passivo indireto.

### 2.1.2.1 Sistema passivo direto

São sistemas de circulação natural (termossifão), no qual o processo de circulação ocorre quando o aquecimento do fluido pelo sol torna-o menos denso, criando escoamento convectivo, conforme ilustrado na Figura 14. São os mais utilizados no caso brasileiro, pelo simples funcionamento e conveniência climática, para sistemas pequenos e de uso doméstico (LIMA, 2003).

Figura 14: Esquema de sistema passivo direto.

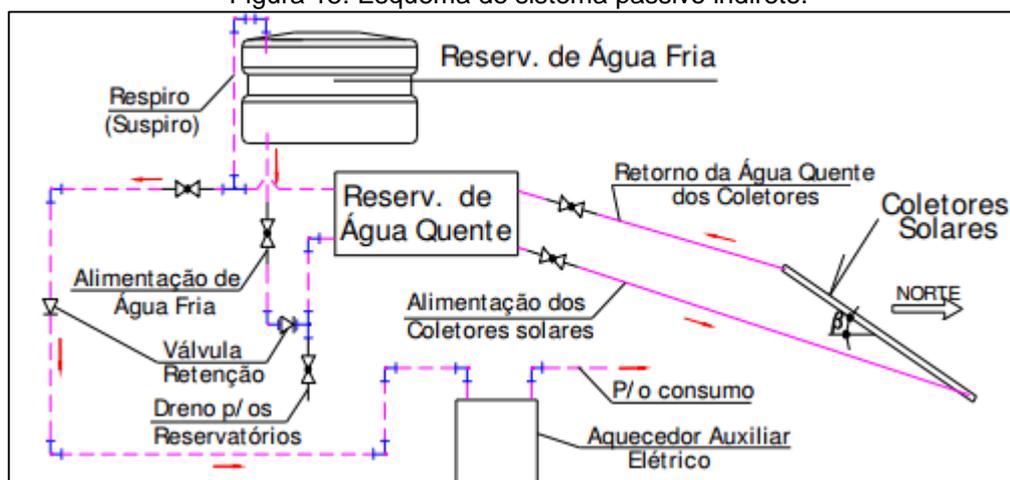


Fonte: LIMA, 2003.

### 2.1.2.2 Sistema passivo indireto

Este sistema, ilustrado na Figura 15, é utilizado quando existe necessidade de proteção contra congelamento do fluido refrigerante. O trocador de calor, neste sistema, pode armazenar ou não certo volume de água quente para atender a demanda (LIMA, 2003).

Figura 15: Esquema de sistema passivo indireto.

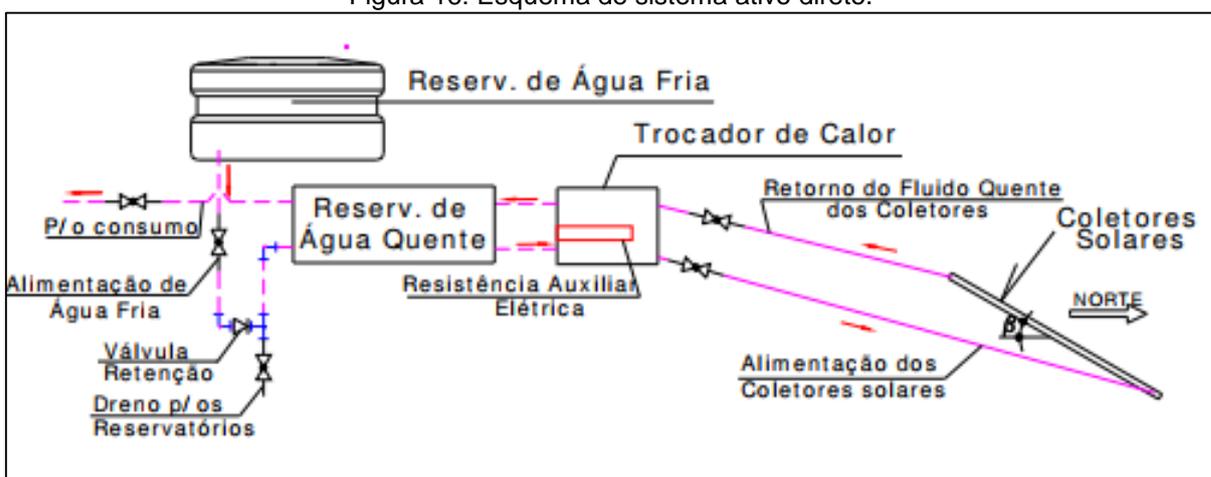


Fonte: LIMA, 2003.

### 2.1.2.3 Sistema ativo direto

Nesta configuração, é utilizada uma bomba para o escoamento do fluido de trabalho, conforme ilustrado na Figura 16. Sendo assim, é permitido que o reservatório seja instalado em qualquer altura em relação aos coletores solares, mas requer maior cuidado com instrumentação que ative seu funcionamento (LIMA, 2003), aumentando o custo de implantação. Também permite proteção contra congelamento, uma vez que pode ser feita a recirculação da água quente pela bomba, bem como a drenagem da água dos coletores.

Figura 16: Esquema de sistema ativo direto.

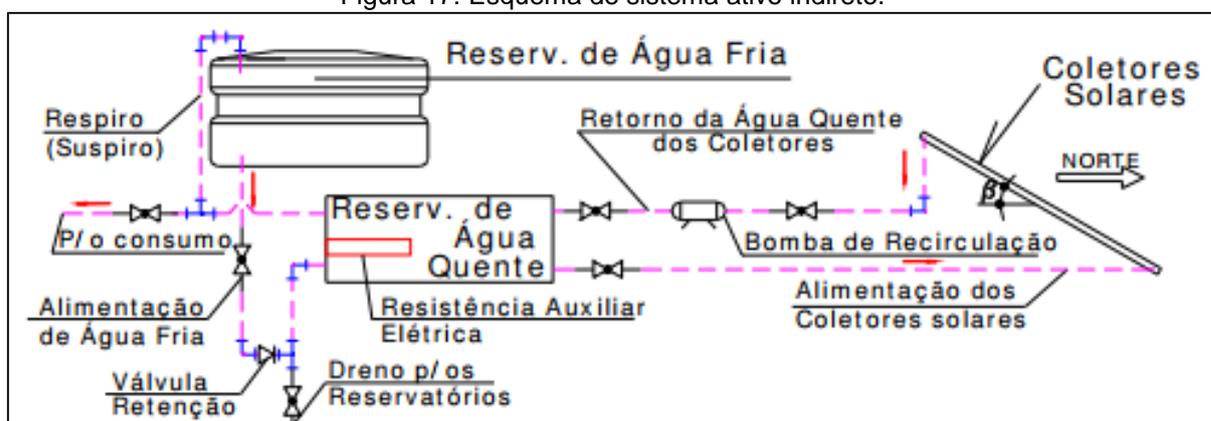


Fonte: LIMA, 2003.

#### 2.1.2.4 Sistema ativo indireto

Em regiões onde o perigo ao congelamento da água nas tubulações é notório, deve ser utilizada a configuração ativa indireta. O trocador pode ser externo ou interno ao tanque, e pode ser utilizada uma ou duas bombas, dependendo do trocador empregado, possuindo maior flexibilidade na implantação (LIMA, 2003). Uma possibilidade é ilustrada na Figura 17.

Figura 17: Esquema de sistema ativo indireto.



Fonte: LIMA, 2003.

#### 2.1.2.5 Mercado de equipamentos termossolares no Brasil

A indústria brasileira domina a tecnologia de sistemas de aquecimento de água com energia solar, devido à simplicidade dos equipamentos para manufatura. É considerável também o fato da fonte de energia ser gratuita. A utilização destes sistemas incentiva a formação de mercado para fabricantes brasileiros (DADALTO, 2008).

A crise de 2001 no setor de energia foi vital para a percepção brasileira na possibilidade de redução de custos com chuveiros elétricos. A utilização da energia solar contribui para equilibrar o mercado de energia elétrica, pois ao concentrar a demanda de eletricidade em horários de pico, se faz necessário investimento de grande porte em ativos de distribuição de eletricidade, cujo custo será refletido ao consumidor final nas tarifas de energia. A utilização de SAS beneficia no uso direto, e na redução destas tarifas (DADALTO, 2008).

Estima-se que existem cerca de 140 fabricantes de equipamentos termossolares no Brasil, cuja profissionalização se deu por três aspectos: i)

reconstrução da imagem da tecnologia devido à falta de conhecimento técnico sobre o rendimento; ii) substituir os chuveiros elétricos, por necessidade das concessionárias de distribuição de eletricidade; iii) criar novas empresas e produtos, para competir com as estabelecidas no momento (PORTER 1999, apud DADALTO, 2008). A profissionalização deste mercado foi dada por duas ações principais: criação de normas técnicas para estes sistemas, e especialização das empresas do setor. A ABRAVA define que os produtos são segmentados em i) aquecedor solar popular; ii) aquecedor solar convencional; iii) aquecedor solar para condomínio.

### 2.1.3 Regulamentação dos Sistemas solares térmicos no Brasil

Por meio da regulamentação da tecnologia de sistemas solares (com a criação de normas técnicas), foi possível garantir a qualidade por parte dos fabricantes, criar barreiras às novas marcas e modelos substitutos e influenciar nos processos de compra do poder público (DADALTO, 2008).

As normas técnicas criadas possibilitam a inclusão dos SAS no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), cujos produtos recebem o selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Juntamente com a etiqueta INMETRO de eficiência, são responsáveis por identificar a qualidade dos equipamentos para os consumidores finais compararem suas eficiências energéticas (DADALTO, 2008).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito o procedimento metodológico adotado para as etapas do dimensionamento. Este trabalho visa buscar a viabilidade econômica na implantação da tecnologia de aquecimento solar de água para banheiro em um edifício residencial, no estado do Rio de Janeiro. Foi considerado um total de vinte unidades habitacionais, para atendimento por meio do SAS, para 4 moradores em cada unidade.

Visando atingir os objetivos enunciados anteriormente, por meio da Norma Brasileira NBR 15569:2008, será feito o dimensionamento do sistema de aquecimento solar, por meio da metodologia prevista na norma. Será considerada uma vida útil de 20 anos para o SAS.

Com base nos resultados obtidos pelas metodologias de cálculo, serão levantados os custos inerentes à operação e manutenção do SAS no edifício, de forma a obter o desempenho do sistema e economia final na conta de energia elétrica, ao substituir os sistemas convencionais de aquecimento pela tecnologia de energia solar.

Na análise, serão comparados os sistemas obtidos com a utilização de distintos coletores solares de placas planas, dados pela Tabela 2, que contém informações dos coletores, a área, os fatores  $F_r\tau\alpha$  (fator adimensional que indica como o coletor absorve energia em termos de transmitância e absorvância),  $F_rUI$  (fator adimensional relativo à quanta energia é perdida pelo coletor), produção média mensal de energia, pressão de trabalho e sua Classe de acordo com o INMETRO.

Tabela 2: Coletores solares de placas planas catalogados pelo INMETRO.

Fabricante & Modelo	Área (m <sup>2</sup> )	$F_{r\tau\alpha}$	$F_{rUI}$	Produção (kWh/Mês)	Pressão (kPa)	Classe
BOSCH - MC 20 EVOLUTION	2	0,71	5,92	157,8	400	A
HIDROCONFORT - INOX H- 200	2,01	0,82	8,88	163,6	400	A
SOLETROL - PRIMO INOX 2 m <sup>2</sup>	2	0,749	6,074	161,2	400	A
TRANSSEN - ITAPUÃ V1.7	1,73	0,709	6,443	133,4	400	A
TRANSSEN - MAGNUM V2.0	2	0,791	6,708	172,6	400	A
UNISOL - BRA 2000	1,99	0,772	7,016	157,8	390	A

Fonte: INMETRO, 2016.

O boiler a ser utilizado será selecionado por meio de pesquisa na internet, levando em consideração as especificações técnicas de projeto e preço.

### 3.1 NBR 15569 – Anexo B2

A Norma Brasileira 15569:2008 estabelece os requisitos para dimensionamento de sistemas de aquecimento solar, levando em consideração todos os aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção (ABNT, 2008). Este método permite calcular a contribuição de um SAS para a entrada de calor total necessária para suprir toda carga térmica, bem como seu desempenho térmico em longo prazo.

A norma define a metodologia de cálculo considerando fração solar de 70% e sem sombreamento nos coletores. Este dimensionamento pode ser feito por meio das etapas a seguir.

#### 3.1.1 Reservatório

Conforme descrito na seção 2.3.1, o reservatório tem a finalidade de armazenar água aquecida com a energia solar, que será utilizada pelo consumidor para os fins residenciais (ABNT, 2008).

### 3.1.1.1 Número de pessoas e demanda de água quente

Para calcular o volume de consumo, deve ser apurado o volume que atende aos pontos de utilização, considerando a vazão das peças, tempo de utilização e sua frequência de uso, conforme a equação (1).

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

### 3.1.1.2 Volume do reservatório armazenador

Para calcular o volume de armazenamento, além do volume de consumo, levamos em consideração as temperaturas de consumo, armazenamento e ambiente, conforme a equação (2) (ABNT, 2008).

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (2)$$

Sugere-se que para valores de temperatura de armazenamento acima de 60°C, seja investigada a eficiência do coletor solar, para maior assertividade do dimensionamento (ABNT, 2008).

### 3.1.1.3 Cálculo área coletora e demanda energética

A demanda de energia útil é dada pela equação (3), considerando as propriedades da água, volume de armazenamento e temperaturas do sistema.

$$E_{útil} = \frac{V_{armaz} * \rho * Cp * (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600} \quad (3)$$

A energia perdida pelo sistema, conforme ABNT (2008) será de 15% do valor da demanda de energia útil, dada pela equação (4).

$$E_{perdas} = 0,15 * E_{\acute{u}til} \quad (4)$$

Para o cômputo da área coletora, por meio da equação (5), é levada em consideração uma série de variáveis, como a Irradiação Global Média Anual (IG), a energia perdida no sistema nos circuitos primário e secundário, e a produção média diária de energia específica do coletor solar; energia esta que por sua vez, depende de coeficientes adimensionais do coletor solar utilizado. Será utilizado o valor da IG para a região de Santos Dumont, na cidade do Rio de Janeiro, de 4,35 kWh/m<sup>2</sup>dia. O mapa de IG é disponibilizado no Anexo A. Uma vez dimensionado o valor de energia útil mensal, será necessário verificar a tabela do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2016), que disponibiliza os fabricantes de sistemas e equipamentos para SAS credenciados no PBE, que informa a produção média mensal de energia dos equipamentos, por tipo de coletor e por metro quadrado.

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\acute{u}til} + E_{perdas}) * FC_{instal} * 4,901}{PMDEE * I_G} \quad (5)$$

Por sua vez, o PMDEE e  $FC_{instal}$  são dados por variáveis dos coletores solares e de sua orientação em relação ao plano horizontal, bem como para o norte geográfico, pelas equações (6) e (7), respectivamente.

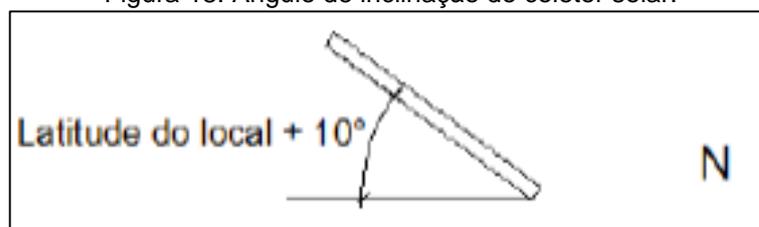
$$PMDEE = 4,901 * (Fr \tau \alpha - 0,0249 * Fr_{UL}) \quad (6)$$

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

#### 3.1.1.4 Posicionamento e associação dos coletores

O posicionamento dos coletores, de forma a otimizar o aproveitamento da irradiação solar é fundamental para o desempenho do sistema (ABNT, 2008). De acordo com a ABRAVA (2008), a exposição dos coletores ao sol deve estar perpendicular de forma a atingir o máximo de irradiação solar possível. Recomenda-se uma inclinação equivalente à latitude da região de instalação, acrescida de  $10^\circ$ , conforme ilustrado na Figura 18.

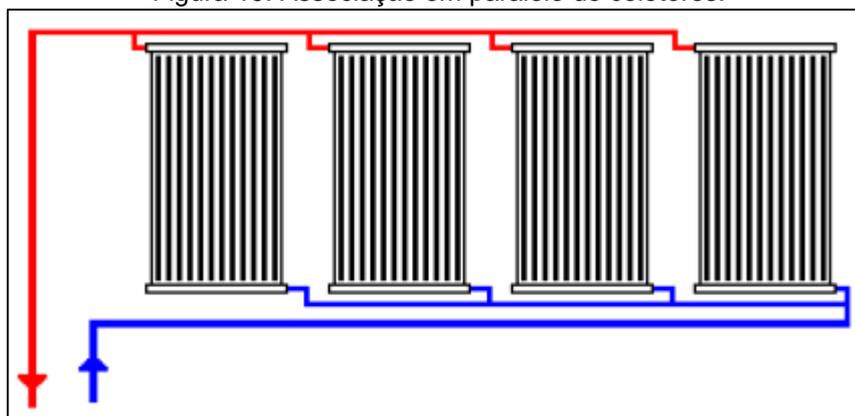
Figura 18: Ângulo de inclinação do coletor solar.



Fonte: SALES, 2017.

Os coletores serão associados em paralelo, de forma a demandar menor comprimento de tubulação, minimizando perdas de carga e reduzindo custos de instalação do sistema. A associação é ilustrada na Figura 19.

Figura 19: Associação em paralelo de coletores.



Fonte: SOLARIS, 2017.

### 3.1.1.5 Custos do sistema

Para avaliar os custos do sistema de maneira estimada, será levado em consideração o custo dos itens de reservatório e coletores, que são os mais significativos, frente aos itens de tubulação e conexões. Em complemento à análise,

serão levados em conta os custos de manutenção, sendo estes uma estimativa de 20% do investimento inicial a cada 10 anos, conforme sugestão de Manea (2009).

### **3.2 Viabilidade econômica**

Para avaliar a energia elétrica economizada com a instalação do SAS, será utilizada a metodologia prevista no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética, aprovada pela Resolução Normativa nº 300 da ANEEL (2008).

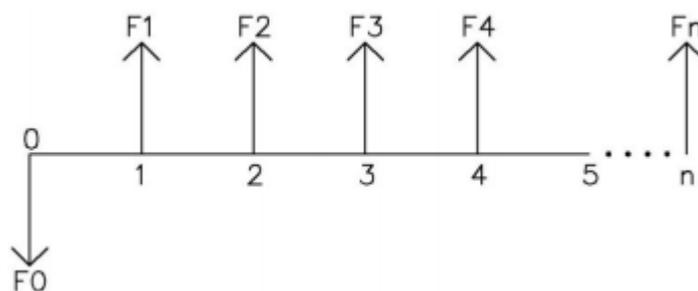
Para a análise financeira, serão necessários os dados de custo de aquisição do sistema, despesas com energia de fonte auxiliar, manutenção, dentre conceitos financeiros como fluxo de caixa, TMA, VPL, TRC.

Após a obtenção do valor de energia economizada, um dado importante a ser visto é o custo da fonte de energia auxiliar, que neste estudo, será a energia elétrica. Com base nos dados da Light, empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na cidade do Rio de Janeiro, será possível obter uma previsão mensal da economia gerada para o consumidor final. Será feita também uma estimativa de acordo considerando reajuste anual na tarifa energética. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2017), a tarifa elétrica sofreu reajuste médio no Brasil de 6,10%, em uma média de 9,92% entre os anos de 2011 até 2016.

#### **3.2.1 Fluxo de Caixa**

No estudo das Finanças, a ferramenta de gestão utilizada para a projeção de entradas (receita) e saídas (desembolsos) de recursos financeiros em períodos futuros é o fluxo de caixa, conceito extensível a empresas e finanças pessoais (SOBRINHO, 1997). Pode ser utilizado para avaliar investimentos que despendam alto valor em capital, de forma a aferir a rentabilidade da decisão. Uma demonstração de fluxo de caixa é ilustrada na Figura 20.

Figura 20: Exemplo de fluxo de caixa.



Fonte: MAGAGNIN, 2010.

Para elaboração de um fluxo de caixa, deve-se ter um demonstrativo de resultados do exercício (DRE), forma pela qual se chega ao lucro líquido disponível, a partir da receita bruta obtida pelo investimento. A Tabela 3 ilustra um exemplo de estrutura simples de DRE, do qual são necessárias as seguintes definições (SOBRINHO, 1997):

- a) Receita bruta: soma de todas as receitas provenientes do investimento, no período avaliado;
- b) Impostos sobre receita bruta: taxas incidentes sobre a receita bruta, como IPI, ICMS, ISS, PIS ou COFINS;
- c) Custos do produto, mercadoria ou serviço vendido: custos diretamente envolvidos na tarefa, como recursos humanos, energia, transporte, dentre outros;
- d) Lucro operacional: conhecido como LAJIDA (Lucro Antes dos Juros, Impostos, Depreciação e Amortização, é obtido subtraindo a receita líquida do CPV (Custos do Produto, Mercadoria ou Serviço Vendido);
- e) Depreciação: despesa sem desembolso, inerente ao uso de um recurso. O desgaste natural com o tempo retorna como dedutível do Imposto de Renda;
- f) Amortização: parcela anual retirada para atender à depreciação de bens ativos. Ao subtrair-se a depreciação e amortização do LAJIDA, obtêm-se o LAIR (Lucro antes do Imposto de Renda);
- g) Juros: corresponde à taxa cobrada no empréstimo realizado para financiamento de um investimento; e
- h) Imposto de Renda: alíquota que deve ser subtraída do LAIR como Contribuição Social sobre Lucros Líquidos.

Tabela 3: Modelo de DRE.

DRE	2017	2018	2019	2020
<b>Receita Bruta</b>	A	A	A	A
<b>Imposto Sobre Receita Bruta</b>	B	B	B	B
ISS e/ou ICMS e/ou IPI	C	C	C	C
PIS/COFINS	D	D	D	D
<b>Receita Líquida</b>	A-B-C-D	A-B-C-D	A-B-C-D	A-B-C-D
Custo do Produto e/ou Mercadoria e/ou Serviço Vendido	E	E	E	E
Lucro Operacional	F	F	F	F
Depreciação	G	G	G	G
Amortização e outros Dedutíveis	H	H	H	H
Lucro Antes do Imposto de Renda (LAIR)	F-J	F-J	F-J	F-J
Imposto de Renda	J	J	J	J
Lucro Líquido	F-J-H-G	F-J-H-G	F-J-H-G	F-J-H-G

Fonte: VIEIRA SOBRINHO, 2008.

O fluxo de caixa será avaliado para medir a viabilidade econômica do sistema a ser dimensionado.

### 3.2.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Por conceito, a TMA é a menor rentabilidade que se deseja para a remuneração de um projeto, de modo a ser considerado que se obtém ganhos financeiros. É um parâmetro utilizado para avaliação de investimentos (ÁVILA, 2013). Nesta análise, existem algumas taxas de referência para o TMA, dentre as quais podem ser citadas a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), taxas de remuneração de títulos públicos do Tesouro Direto, caderneta de Poupança, ou qualquer outra taxa de interesse dos investidores de um projeto (MAGAGNIN, 2008).

### 3.2.3 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Vieira Sobrinho (2000), o Valor Presente Líquido é obtido pela soma de todos os valores de um fluxo de caixa, até a data presente. Para tal, descontam-se valores futuros e somam-se os valores descontados com o apresentado no fluxo de caixa na data inicial. Como taxa desconto, é utilizada a TMA adotada pelo investidor. A VPL será calculada com auxílio do software Microsoft Excel.

Obtido o valor de VPL, deve ser feita a análise a seguir:

- a)  $VPL > 0$ , o investimento terá retorno do capital investido com taxa superior à TMA, tornando-se viável;
- b)  $VPL = 0$ , o investimento terá retorno do capital investido com taxa igual à TMA, ainda sendo viável; e
- c)  $VPL < 0$ , para o qual o investimento não é viável.

### 3.2.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para Vieira Sobrinho (2000), TIR é a taxa de desconto para a qual se tem a equalização entre o investimento feito e o retorno obtido. É considerado que um projeto é viável quando a  $TIR \geq TMA$ . A TIR será calculada por auxílio do software Microsoft Excel.

### 3.2.5 Tempo de Recuperação de Capital (TRC)

O TRC mede o tempo no qual é recuperado o capital investido em um projeto. É um método utilizado para permitir uma análise qualitativa do risco do investimento. (MAGAGNIN, 2008). Será calculada por meio do software Microsoft Excel.

### 3.2.6 Análise do Ciclo de Vida

É importante avaliar todos os parâmetros financeiros para definir qual opção é economicamente mais viável para um projeto de SAS. De acordo com Hirschfeld (2000) apud Sales (2008), uma maior fração solar nem sempre constitui de uma opção mais econômica. SALES (2008) cita que um SAS será viável em termos econômicos

quando as reduções dos custos de consumo de energia elétrica forem maiores do que os custos de aquisição, operação e manutenção do sistema.

De acordo com Duffie e Beckman (2008), os principais lançamentos do fluxo de caixa a serem avaliados para o ciclo de vida do SAS são:

- a) Custo de aquisição do sistema;
- b) Custo de instalação do sistema;
- c) Despesas com a fonte de energia auxiliar, prevista na NBR 15569 (ABNT, 2008);
- d) Custos de manutenção do sistema; e
- e) Valor de revenda, sempre que existente.

Segundo Pereira (2003), diversos componentes financeiros e não financeiros são envolvidos na decisão de utilizar ou não os aquecedores solares. Dentre os não financeiros, pode-se citar:

- a) Possibilidade de racionamento de energia;
- b) Risco do aumento tarifário por parte das concessionárias brasileiras;
- c) Risco de corte de energia em determinados períodos.

Dentre os componentes financeiros, podemos citar:

- a) Perfil de consumo dos eventuais usuários;
- b) Quantas unidades serão atendidas pelo SAS;
- c) Quantos usuários serão atendidos pelo SAS;
- d) Volume e vazão médios de água quente consumido por usuário;
- e) Potência requerida pelos chuveiros elétricos;
- f) Fração solar do SAS;
- g) Custos de instalação, operação, manutenção e aquisição dos equipamentos necessários; e
- h) Custo de oportunidade, devido à rentabilidade obtida caso aplicado o capital em outro investimento.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação da NBR 15569:2008, comparação da economia obtida e verificando sua relevância para o consumidor final.

Foi elaborado o projeto de um edifício hipotético, a ser construído na cidade do Rio de Janeiro. O edifício comportará um total de 80 pessoas (20 apartamentos de 4 pessoas por unidade habitacional). O sistema foi dimensionado pelo modelo de residência unifamiliar, visando atender a demanda de água quente diária de 648 litros por residência, totalizando 12.960 litros pelo edifício inteiro (equivalente a 12,96 m<sup>3</sup> diários). Será adotada a temperatura média de 24°C na cidade do Rio de Janeiro, temperatura de armazenamento do reservatório em 50°C e temperatura de consumo em 40°C.

Um desenho esquemático do prédio foi feito utilizando o software Revit Architecture, da Autodesk, e encontra-se disponível na Figura 21.

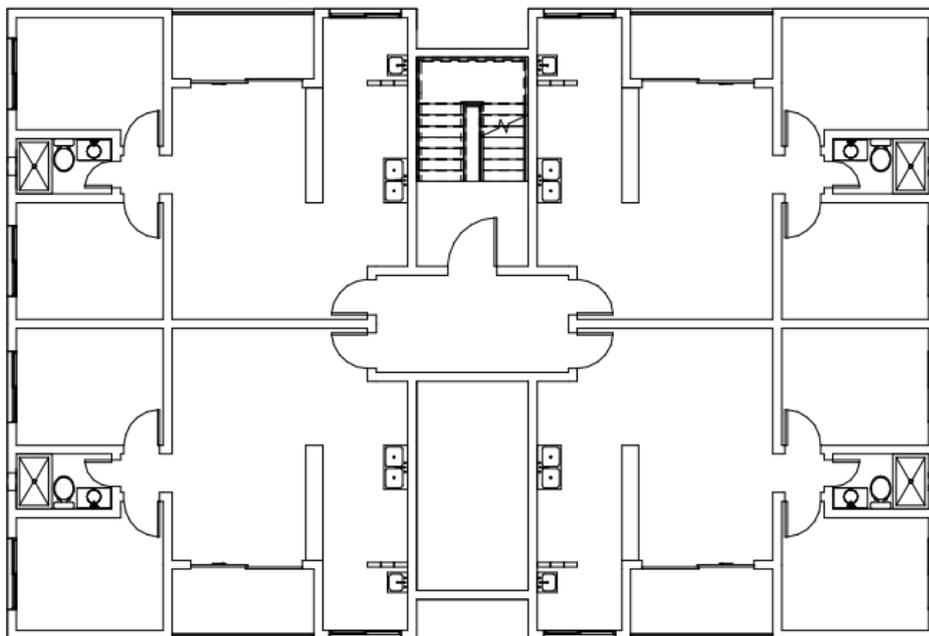
Figura 21: Esquema do edifício de projeto.



Fonte: autoria própria.

O edifício consiste de quatro unidades habitacionais por andar, sendo cinco andares, totalizando vinte apartamentos. A planta baixa do edifício está disponível na Figura 22.

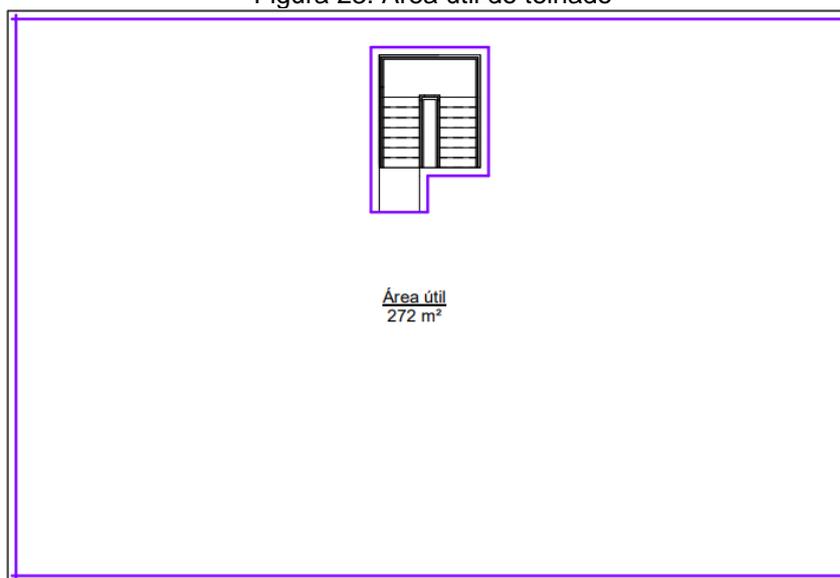
Figura 22: Planta baixa do edifício.



Fonte: autoria própria.

Conforme a Figura 23, o edifício dispõe de 272 m<sup>2</sup> de área útil no telhado para utilização do SAS.

Figura 23: Área útil do telhado



Fonte: autoria própria.

A Tabela 4 resume o projeto de estudo deste trabalho.

Tabela 4: projeto de estudo.

Projeto em Estudo	
Projeto	Edifício residencial
Pessoas/unidade	4
Nº Unidades	20
Demanda diária de água quente (m <sup>3</sup> )	12,96
Volume reservatório térmico (m <sup>3</sup> )	7,98
Temperatura ambiente local (°C)	24°C
Temperatura de consumo	40 °C
Temperatura do reservatório (boiler)	50°C

Fonte: autoria própria.

A taxa utilizada para as previsões será de 0,56015 R\$/kWh.

#### 4.1 NBR 15569

O volume de consumo de água foi determinado pela equação (1), tendo como base os itens da Tabela 5.

Tabela 5: volume de água quente consumido.

Volume consumido	
Chuveiro (L/pessoa/dia)	150
Torneira (L/pessoa/dia)	6
Pia (L/pessoa/dia)	6
Total por pessoa (L/dia)	162
Total diário por apartamento (L)	648
Total diário para o edifício (L)	12960

Fonte: autoria própria.

Com o cálculo do volume total consumido, é possível dimensionar o volume do reservatório de armazenamento de água quente, por meio da equação (2):

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$$

$$V_{armaz} = 12,96 * \frac{(40 - 24)}{(50 - 24)}$$

$$V_{armaz} = 7,98 \text{ m}^3$$

O boiler com especificações técnicas comerciais mais próximas da calculada de projeto é o boiler da empresa Solaresol, com 4 m<sup>3</sup> de volume. Serão utilizados dois (2) boilers com esta especificação, para atender por meio de 8 m<sup>3</sup> a demanda do volume de armazenagem. O custo unitário de um boiler, com espuma de retenção de calor interna, serpentina em cobre, aletas em alumínio com pintura super negra de absorção de calor e vidro liso de 3mm custa R\$ 12.331,80. Como serão utilizados dois, o custo final com boiler é de R\$ 24.663,60.

A demanda de energia útil e perdas são dadas por:

$$E_{\acute{u}til} = \frac{V_{armaz} * \rho * Cp * (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$$

$$E_{\acute{u}til} = \frac{7,98 * 1000 * 4,18 * (50 - 24)}{3600}$$

$$E_{\acute{u}til} = 240,77 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{perda} = 0,15 * E_{\acute{u}til}$$

$$E_{perda} = 36,11 \text{ kWh/dia}$$

O cálculo da área coletora depende de variáveis individuais de cada tipo de coletor solar. O coletor *Soletrol Primo Inox* será utilizado para exemplificar o cálculo.

$$PMDEE = 4,901 * (Fr \tau \alpha - 0,0249 * Fr_{UL})$$

$$PMDEE = 4,901 * (0,749 - 0,0249 * 6,074)$$

$$PMDEE = 2,930 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$$

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \gamma^2]}$$

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (22,9 - 32,9)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 30^2]}$$

$$FC_{instal} = 1,045$$

$$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdas}) * FC_{instal} * 4,901}{PMDEE * I_G}$$

$$A_{coletora} = \frac{(240,77 + 36,11) * 1,045 * 4,901}{2,930 * 4,35}$$

$$A_{coletora} = 111,33 \text{ m}^2$$

Desta forma, o sistema fará uso de 111,33 m<sup>2</sup> de placas coletoras *Soletrol Primo Inox* para atingir a demanda de aquecimento da água. Para atender a essa demanda, será necessário obter 56 coletores, totalizando uma área arredondada de 112 m<sup>2</sup>. Os resultados de área coletora necessária, número de coletores necessários e preço para todos os fabricantes e modelos adotados no trabalho são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: resultados de área total e preço de coletores para o sistema.

Fabricante & Modelo	Área Necessária (m <sup>2</sup> )	Nº Coletores	Área Total (m <sup>2</sup> )	Preço unitário	Preço Total
BOSCH - MC 20 EVOLUTION	118,28	60	120	R\$1.022,00	R\$61.320,00
HIDROCONFORT - INOX H-200	111,12	56	112,56	R\$861,89	R\$48.265,84
SOLETROL - PRIMO INOX	111,33	56	112	R\$784,50	R\$43.932,00
TRANSSEN - ITAPUÃ V1.7	121,31	71	122,83	R\$652,00	R\$46.292,00
TRANSSEN - MAGNUM V2.0	106,65	54	108	Não Disponível	Não Disponível
UNISOL - BRA 2000	111,41	56	111,44	Não Disponível	Não Disponível

Fonte: autoria própria.

Para os coletores Transsen Magnum V2.0 e Unisol BRA 2000, não foi possível obter o custo unitário. As tabelas completas com as etapas do dimensionamento e resultados obtidos encontram-se disponíveis no Apêndice A.

## 4.2 Variáveis financeiras

Para a análise financeira do projeto, será necessário determinar algumas variáveis. Será adotado o coletor Soletrol Primo Inox, devido ao custo-benefício no cômputo do número de coletores necessários frente ao preço. O custo da energia auxiliar também será relevante, sendo esta a energia elétrica. O valor da tarifa energética foi obtido pela Light, custando R\$ 0,56015 por kWh. A fim de tornar conservadora a projeção da viabilidade econômica, será a taxa de 9,92% de reajuste na tarifa de energia elétrica, média levantada pela EPE (2017).

A Tabela 7 contém dados do sistema de aquecimento solar, como o consumo mensal de energia elétrica que seria necessária para atingir a temperatura final de consumo, a fração solar obtida no projeto, bem como a economia mensal de energia elétrica com a utilização do SAS.

Tabela 7: resumo do SAS.

---

**Sistema de Aquecimento Solar**

---

Fração solar	0,70
Consumo mensal de energia (kWh)	7223,04
Economia mensal de energia (kWh)	5056,13
Valor do investimento	R\$ 68.595,60
Manutenção	20% a cada 10 anos

---

Fonte: autoria própria.

Conforme a NBR 15569, a fração solar, participação da fonte de energia solar no aquecimento da água para o projeto dimensionado, é de 70%. Portanto, os demais 30% serão oriundos da energia elétrica. A Tabela 8 resume o consumo energético da fonte auxiliar, e a Tabela 9 resume quanto será economizado em reais brasileiros (R\$) com a implantação do sistema.

Tabela 8: resumo do consumo de energia elétrica.

---

**Consumo Energia Elétrica**

---

Energia consumida (kWh/mês)	2166,91
Valor de consumo mensal	R\$ 1.213,80
Valor de consumo anual	R\$ 14.565,55
Consumo mensal (por unidade)	R\$ 60,69
Consumo anual (por unidade)	R\$ 728,28

---

Fonte: autoria própria.

Tabela 9: resumo da economia de energia elétrica.

---

**Economia Energia Elétrica**

---

Tarifa Energia Elétrica (R\$/kWh)	0,56015
Valor de Economia Mensal	R\$ 2.832,19
Valor de Economia Anual	R\$ 33.986,28
Economia mensal (por unidade)	R\$ 141,61
Economia anual (por unidade)	R\$ 1.699,31

---

Fonte: autoria própria.

Mediante a obtenção dos valores acima, verifica-se que a economia real do sistema com a implantação do sistema é dada por meio da diferença entre a economia gerada com o SAS, e o valor que será gasto com a fonte auxiliar. Estes valores são resumidos na Tabela 10.

Tabela 10: resumo da economia final em dinheiro.

Economia final em dinheiro	
Por unidade/mês	R\$ 80,92
Por unidade/ano	R\$ 971,04
Total/mês	R\$ 1.618,39
Total/ano	R\$ 19.420,73

Fonte: autoria própria.

Para a análise financeira, a TMA adotada como referência será a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), que é a média de juros que o governo brasileiro paga por empréstimos tomados dos bancos. Esta taxa é a medida de outras taxas de juros usadas, como o cartões de crédito, poupança e cheque especial.

Segundo o Banrisul (2017) o valor da rentabilidade média da taxa SELIC (janeiro/2017 a dezembro/2017) é de 9,94 % ao ano.

Mediante coleção de todos os dados necessários, é possível montar o fluxo de caixa das entradas e saídas do projeto, representado no Apêndice B. O VPL, TIR e TRC foram calculados, de forma a permitir a análise de viabilidade do projeto. A planilha com os resultados está disponível no Apêndice C. Segue abaixo conforme a ordem numérica das colunas a descrição de cada variável.

- a) Coluna 1, período, representa tempo em que ocorre entrada ou saída do fluxo de caixa, que neste trabalho cada período representa um ano;
- b) Coluna 2, ano de referência;
- c) Coluna 3, valor de economia de energia;
- d) Coluna 4, tarifa de reajuste de energia estimada;
- e) Coluna 5, valor da economia com o reajuste de energia;
- f) Coluna 6, gasto com manutenção, adotado de 20% a cada 10 anos;
- g) Coluna 7, fluxo de caixa do projeto, iniciado com o investimento de aquisição do sistema, seguido de entradas com o valor de economia da energia elétrica e saídas com custos de manutenção;

- h) Coluna 8, fluxo de caixa no instante zero, utilizado para transformar o desconto do valor futuro em valor presente, por meio da TMA;
- i) Coluna 9, somatório de valores no instante zero, usado para determinar em quantos anos o sistema será pago por meio de sua economia;

Analisando o somatório de valores, verifica-se que no quinto ano, o VPL torna-se positivo. No quarto ano, o valor presente era de um débito de R\$ 15.620,34. Como a economia mensal é de R\$ 1.618,39, somando os valores é possível verificar que com 4 anos e 10 meses, o VPL torna-se positivo. Portanto, 4 anos e 10 meses é o tempo de recuperação do capital.

Foi feito o dimensionamento do SAS de acordo com a Norma Brasileira NBR 15569 (2008), utilizando o modelo apresentado, determinando o volume de consumo necessário para atender a demanda de água quente, sendo este de 648 litros por unidade habitacional. Distintos modelos e fabricantes de coletores solares foram selecionados, para análise de custo-benefício, sendo o escolhido o coletor *Soletrol Primo Inox*. Cada coletor tem área de 2 m<sup>2</sup>, sendo o total de área coletora necessária 112 m<sup>2</sup>. O investimento inicial para a realização do projeto totalizou R\$ 68.595,60.

Com o método aplicado e os dados obtidos no capítulo anterior, obteve-se a economia de R\$ 80,92 por mês, somando economia de R\$ 971,04 ao ano para o usuário final. A viabilidade do projeto também depende do valor das variáveis financeiras calculadas. Sendo o VPL maior ou igual à zero, o projeto é viável. Outro dado a ser analisado é o TIR, que ao comparada com a TMA, deve possuir valor superior, para ser recomendado o investimento no projeto.

O VPL do projeto foi de R\$ 259.046,69 e a TIR calculada apresentou o valor de 40,45%. Portanto, os resultados apresentados por meio da análise indicam que a utilização do sistema de aquecimento solar é viável, uma vez que o VPL do projeto resultou em valor positivo e a TIR superou a TMA.

Por fim, definiu-se o Tempo de Recuperação de Capital do projeto, que é equivalente ao tempo que o capital investido levará para retornar ao investidor. O projeto teve TRC de 4 anos e 10 meses. Como o SAS possui vida útil de 20 anos, ainda após o atingimento do TRC, o sistema trará significativa economia até o final de sua vida útil.

É possível aferir que o sistema não é difundido nos prédios residenciais por uma série de fatores. Dentre os primeiros, pode-se citar o alto custo inicial de investimento para a pessoa física, levando em consideração o rendimento médio real

domiciliar *per capita* do brasileiro. Existe também o fato de que grandes construtoras não constroem imóveis visando o consumo próprio e sim a venda. Como o SAS é benefício para o consumidor final do imóvel, não é vantagem financeira a implantação do sistema por parte da construtora. Por fim, pode-se citar o próprio desconhecimento das diversas tecnologias de energia solar por parte da população brasileira, uma vez que ainda é difundido o painel fotovoltaico, não havendo discussão ampla no mérito de coletores solares de placa plana, dentre outros.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho era a análise de viabilidade técnica e econômica da implantação de um SAS para um edifício residencial, no qual se apresentaram indicadores necessários para obter conclusões. Na atualidade, a implantação de SAS no Brasil é majoritariamente incentivada por fatores sociais, econômicos e ambientais. A localização geográfica do Brasil é favorável com relação à irradiação solar, motivo principal pelo qual o poder público deve tomar medidas para popularizar o uso deste sistema, como alternativa a fontes não renováveis de geração de energia.

Por meio da aplicação da Norma Brasileira NBR 15569 (2008), foi possível dimensionar o sistema de aquecimento solar, bem como realizar pesquisas na área de energia solar, conhecendo formas, configurações básicas do sistema e suas restrições. Foi possível comparar a implantação do projeto com diversos coletores de distintos fabricantes, e selecionar o de melhor custo-benefício devido ao menor número de coletores (que requer menor custo futuro de manutenção), bem como o preço do investimento inicial, para o qual foi adotado o coletor *Soletrol Primo Inox*, de 2 m<sup>2</sup> de área coletora.

O edifício contava com área útil de 272 m<sup>2</sup>, conforme projetado no Revit, e foi necessária para a implantação um total de 112 m<sup>2</sup>, portanto, existe área útil suficiente para o projeto, de forma a permitir a circulação para manutenção, bem como evitar o sombreamento dos coletores, requisito este da NBR 15569:2008 para o dimensionamento do projeto. O trabalho desenvolvido teve como frutos a análise de diversas vantagens do uso de aquecimento solar; tais como a minimização de problemas ambientais, por meio da redução de implantação de fontes não renováveis de energia, economia ao consumidor final, redução da demanda de energia elétrica do SIN em horários de pico, e o melhor aproveitamento da energia solar, fonte abundante e não poluente.

O estudo do sistema e os cálculos realizados para o edifício residencial indicam que se obtém resultado de economia de R\$ 19.420,73 por ano após implantação do sistema. Calculando o VPL e TIR, obteve-se resultado favorável na instalação do SAS, ao se constatar valor positivo para o VPL e TIR acima da TMA estabelecida. Por meio do TRC também foi possível verificar um retorno do capital investido em 4 anos e 10 meses, concluindo assim, que o sistema é lucrativo ao investidor e consumidor final.

Portanto, os resultados indicam que o aproveitamento da energia solar é viável em longo prazo, frente à redução do consumo de energia elétrica, não apenas em questões financeiras, mas no que tange ao meio ambiente.

Para trabalhos futuros, seguem as seguintes recomendações:

- a) Aprofundar o estudo de custos, por meio da inclusão dos custos de instalação, tubulações, conexões, sensores e demais materiais necessários para a construção física do projeto;
- b) Analisar a viabilidade com a utilização do gás natural como fonte auxiliar de energia;
- c) Averiguar a possibilidade da obtenção de incentivos fiscais na implantação do projeto, e efetuar a análise financeira com base nas taxas de juros do empréstimo; e
- d) Confrontar os resultados obtidos por meio da Norma Brasileira NBR 15569 com resultados de simulação em *softwares* específicos de modelo de desempenho e financeiros para geração de energia, como o *System Advisor Model*, do NREL ou o *Dimensol*, simulador de sistemas de aquecimento solar de água elaborado pela Procel.

## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10184: Coletores solares planos para líquidos – determinação do rendimento térmico**. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10185: Reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar – determinação do rendimento térmico**. Rio de Janeiro, 1988.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. 138p. 2008

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Apresentação: O Sistema de Aquecimento Solar e a Realidade Energética (Fatos e Oportunidades)**. Marcelo Mesquita, 2010.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Notícias Abrava. In.: **Revista Abrava**, Edição 291, maio 2011, p.27.

ANEEL – **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª ed. – Brasília, 2008.

AVILA, A.V. **Matemática financeira e engenharia econômica**. Programa de Educação Tutorial da Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis, 2013.

BANRISUL – **Tabela de Rentabilidade**, 2017. Disponível em: <[http://www.banrisul.com.br/bob/data/Banrisul\\_TabelaRentabilidade\\_CDB\\_Poupanca\\_Dezembro17.pdf](http://www.banrisul.com.br/bob/data/Banrisul_TabelaRentabilidade_CDB_Poupanca_Dezembro17.pdf)>. Acesso em: jan/2018.

BAPTISTA, A. S. C. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil**. 171f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DADALTO, E.A. Utilização da energia solar para aquecimento de água pela população de baixa renda domiciliar em habitações populares. 117f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

DE LAQUIL, P. **Solar Thermal Electric Technology**. In: Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Earthscan, Island Press, Washington DC 1993. p. 213-296.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 3ª Edição. Nova York: John Wiley & Sons, 2008.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica: Ano base 2016**. EPE, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: fev/2018.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. EPE, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: set/2017.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009. 187 p.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Classe Residencial Relatório Sudeste**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2005. 181 p.

\_\_\_\_\_. **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. / Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos; Marcos Alexandre Couto Limberger (Organizadores). – Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. 240p.

IEA, **World Energy Outlook 2013**. OECD/IEA, Paris, 2013. 708 p.

\_\_\_\_\_. **Renewables Information Overview**. OECD/IEA, Paris, 2017. 11 p.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água – coletores solares - edição 03/16**. INMETRO, 2016. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em: jan/2018.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. 1ª edição, Academic Press, Elsevier, EUA. 2009.

\_\_\_\_\_. **Solar thermal collectors and applications**. 1ª edição, Academic Press, Elsevier, EUA. 2003.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. 123p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LUQUE, A., HEGEDUS, S. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. 2ª edição. USA, Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd., 2003.

MALATE, Z. E. **Concepção, construção e análise do desempenho de um concentrador solar térmico parabólico de foco pontual**. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Pedagógica, Maputo, Moçambique, 2015.

MAGAGNIN, A. L. **Impactos econômicos do uso de energia solar para aquecimento de água em residências unifamiliares**. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

MANEA, T.F. **Avaliação de Sistemas de Aquecimento de Água Solar-Gás**. 23f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MOHAMAD, A.A. **Integrated solar collector-storage tank system with thermal diode**. Solar Energy, v. 61, n. 3, p. 218-221, 1997.

MOTTA, R. R., et al. **Engenharia econômica e finanças**. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. PBMC, COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 98p.

PEREIRA, E. M. D., et al. **Energia Solar Térmica**. In: **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003.

SÁLES, I. C. F. **Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: Uma Contribuição ao Setor Elétrico na Conservação de Energia**. 158 f. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SALES, T.R.R. **O Uso da Energia Solar nas Obras Civis: Um Estudo Sobre o Aquecimento De Água Por Sistema de Coletores Solares em Edifícios Residenciais**. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2017.

SAM/NREL, 2014. **Software System Advisor Model (SAM)**, versão 2017.9.5. Disponível em: <https://sam.nrel.gov/>. Acesso em: jan/2018.

SANTOS, R. R. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Instalação de um Sistema de Aquecimento de Água Utilizando Energia Solar**. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOLARGIS, **Solar resource maps for Brazil**. 2013. Disponível em: <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/brazil>>. Acesso em: nov/2017.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**, 1.ed. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TOMÉ, M.C. **Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal**. 81f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2014.

TSILINGIRIS, P. T. **Design, analysis and performance of low-cost plastic film large solar water eating systems**. Solar Energy, v. 60, n. 5, p. 245-256, 1997.

VIEIRA SOBRINHO, José Dutra. **Matemática Financeira**, 7.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VIEIRA DE SOUZA, L. E., GILMANOVA CAVALCANTE, A. M. **Concentrated Solar Power deployment in emerging economies: The cases of China and Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 72. p. 1094-1103, 2017.

WANG, C., CAI, W., LIAO, H., LIN, J. **China's carbon mitigation strategies: enough?**. Energy Policy, v. 73, p.47-56, 2014.

## APÊNDICE A – Tabelas de Resultados NBR 15669

Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor SOLETROL - PRIMO INOX 2 m <sup>2</sup>																																																																																																																				
Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.																																																																																																																				
<p>Volume consumo:</p> $V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$ <p>Volume armazenamento:</p> $V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$ <p>Demanda energia útil</p> $E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times Cp \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$ <p>Área coletora</p> $A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$ <p>Energia perdida média</p> $E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$ <p>PMDEE</p> $PMDEE = 4,901 \times (Fr\tau\alpha - 0,0249 \times Fr_{útil})$ <p>FC de instalação</p> $FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-3} \times \gamma^2]}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>T Consumo °C</th> <th>Qmax (L/min)</th> <th>t (min)</th> <th>Frequência (dia)</th> <th>Total (L/dia)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Chuveiro</td> <td>40º</td> <td>15</td> <td>10</td> <td>1</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>Torneira</td> <td>40º</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Ducha Higiênica</td> <td>40º</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)	Chuveiro	40º	15	10	1	150	Torneira	40º	3	1	2	6	Ducha Higiênica	40º	3	1	2	6	<p><b>Dados Sistema Completo</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Pessoas por Apartamento</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Apartamentos</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volume de Consumo (m<sup>3</sup>/dia)</td> <td>12,96</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperatura Ambiente (°C)</td> <td>24</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volume Armazenamento (m<sup>3</sup>/dia)</td> <td>7,98</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperatura Consumo (°C)</td> <td>40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperatura Armazenamento (°C)</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calor Específico Água kJ/kg K)</td> <td>4,18</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Massa Específica Água ρ, (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>1000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Razão de Volumes</td> <td>61,54%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pessoas por Apartamento	4					Apartamentos	20					Volume de Consumo (m <sup>3</sup> /dia)	12,96					Temperatura Ambiente (°C)	24					Volume Armazenamento (m <sup>3</sup> /dia)	7,98					Temperatura Consumo (°C)	40					Temperatura Armazenamento (°C)	50					Calor Específico Água kJ/kg K)	4,18					Massa Específica Água ρ, (kg/m <sup>3</sup> )	1000					Razão de Volumes	61,54%					<p><b>SOLETROL - PRIMO INOX 2 m<sup>2</sup></b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>FC Instalação</td> <td>1,045</td> </tr> <tr> <td>Frta</td> <td>0,749</td> </tr> <tr> <td>Frul</td> <td>6,074</td> </tr> <tr> <td>Área Coletor (m<sup>2</sup>)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Beta °</td> <td>22,9</td> </tr> <tr> <td>Gama °</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Beta Ótimo °</td> <td>32,9</td> </tr> <tr> <td>PMDEE (kWh/m<sup>2</sup>/dia)</td> <td>2,930</td> </tr> </tbody> </table>	FC Instalação	1,045	Frta	0,749	Frul	6,074	Área Coletor (m <sup>2</sup> )	2	Beta °	22,9	Gama °	30	Beta Ótimo °	32,9	PMDEE (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	2,930	<p><b>Resultados</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Demanda Energia (kWh/dia)</td> <td>240,768</td> </tr> <tr> <td>Perda Média (kWh/dia)</td> <td>36,115</td> </tr> <tr> <td>Fração Solar</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>Área Coletora (m<sup>2</sup>)</td> <td><b>111,326</b></td> </tr> <tr> <td>Número de Coletores</td> <td><b>56</b></td> </tr> <tr> <td>Área arredondada (m<sup>2</sup>)</td> <td>112</td> </tr> </tbody> </table>	Demanda Energia (kWh/dia)	240,768	Perda Média (kWh/dia)	36,115	Fração Solar	70%	Área Coletora (m <sup>2</sup> )	<b>111,326</b>	Número de Coletores	<b>56</b>	Área arredondada (m <sup>2</sup> )	112
Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)																																																																																																															
Chuveiro	40º	15	10	1	150																																																																																																															
Torneira	40º	3	1	2	6																																																																																																															
Ducha Higiênica	40º	3	1	2	6																																																																																																															
Pessoas por Apartamento	4																																																																																																																			
Apartamentos	20																																																																																																																			
Volume de Consumo (m <sup>3</sup> /dia)	12,96																																																																																																																			
Temperatura Ambiente (°C)	24																																																																																																																			
Volume Armazenamento (m <sup>3</sup> /dia)	7,98																																																																																																																			
Temperatura Consumo (°C)	40																																																																																																																			
Temperatura Armazenamento (°C)	50																																																																																																																			
Calor Específico Água kJ/kg K)	4,18																																																																																																																			
Massa Específica Água ρ, (kg/m <sup>3</sup> )	1000																																																																																																																			
Razão de Volumes	61,54%																																																																																																																			
FC Instalação	1,045																																																																																																																			
Frta	0,749																																																																																																																			
Frul	6,074																																																																																																																			
Área Coletor (m <sup>2</sup> )	2																																																																																																																			
Beta °	22,9																																																																																																																			
Gama °	30																																																																																																																			
Beta Ótimo °	32,9																																																																																																																			
PMDEE (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	2,930																																																																																																																			
Demanda Energia (kWh/dia)	240,768																																																																																																																			
Perda Média (kWh/dia)	36,115																																																																																																																			
Fração Solar	70%																																																																																																																			
Área Coletora (m <sup>2</sup> )	<b>111,326</b>																																																																																																																			
Número de Coletores	<b>56</b>																																																																																																																			
Área arredondada (m <sup>2</sup> )	112																																																																																																																			
	<p><b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>IG (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</td> <td>4,35</td> </tr> </tbody> </table>	IG (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	4,35																																																																																																																	
IG (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	4,35																																																																																																																			

## Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor BOSCH - MC 20 EVOLUTION

Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.

	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)
<b>Volume consumo:</b> $V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$	Chuveiro	40°	15	10	1	150
	Torneira	40°	3	1	2	6
<b>Volume armazenamento:</b> $V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$	Ducha Higiênica	40°	3	1	2	6
<b>Demanda energia útil</b> $E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$	<b>Dados Sistema Completo</b>					
<b>Área coletora</b> $A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$	Pessoas por Apartamento		4			FC Instalação
<b>Energia perdida média</b> $E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$	Apartamentos		20			Frta
<b>PMDEE</b> $PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL})$	Volume de Consumo (m³/dia)		12,96			Frul
<b>FC de instalação</b> $FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{inimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$	Temperatura Ambiente (°C)		24			Área Coletor (m²)
	Volume Armazenamento (m³/dia)		7,98			Beta °
	Temperatura Consumo (°C)		40			Gama °
	Temperatura Armazenamento (°C)		50			Beta Ótimo °
	Calor Específico Água kJ/kg K)		4,18			PMDEE (kWh/m²/dia)
	Massa Específica Água ρ, (kg/m³)		1000			
	Razão de Volumes		61,54%			
	<b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b>					
	IG (kWh/m².dia)		4,35			
	<b>BOSCH - MC 20 EVOLUTION</b>					
	<b>Resultados</b>					
	Demanda Energia (kWh/dia)					240,768
	Perda Média (kWh/dia)					36,115
	Fração Solar					70%
	Área Coletora (m²)					<b>118,285</b>
	Número de Coletores					<b>60</b>
	Área arredondada (m²)					120

### Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor HIDROCONFORT - INOX H-200

Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.

	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)
<p><b>Volume consumo:</b></p> $V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$	Chuveiro	40°	15	10	1	150
	Torneira	40°	3	1	2	6
<p><b>Volume armazenamento:</b></p> $V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$	Ducha Higiênica	40°	3	1	2	6
<p><b>Demanda energia útil</b></p> $E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$	<b>Dados Sistema Completo</b>					
<p><b>Área coletora</b></p> $A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$	<b>HIDROCONFORT - INOX H-200</b>					
<p><b>Energia perdida média</b></p> $E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$	Pessoas por Apartamento		4		FC Instalação	1,045
<p><b>PMDEE</b></p> $PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL})$	Apartamentos		20		Frta	0,82
<p><b>FC de instalação</b></p> $FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{inimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$	Volume de Consumo (m³/dia)		12,96		Frul	8,88
	Temperatura Ambiente (°C)		24		Área Coletor (m²)	2,01
	Volume Armazenamento (m³/dia)		7,98		Beta °	22,9
	Temperatura Consumo (°C)		40		Gama °	30
	Temperatura Armazenamento (°C)		50		Beta Ótimo °	32,9
	Calor Específico Água kJ/kg K)		4,18		PMDEE (kWh/m²/dia)	2,935
	Massa Específica Água ρ, (kg/m³)		1000			
	Razão de Volumes		61,54%			
	<b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b>					
	IG (kWh/m².dia)		4,35			
	<b>Resultados</b>					
	Demanda Energia (kWh/dia)					240,768
	Perda Média (kWh/dia)					36,115
	Fração Solar					70%
	Área Coletora (m²)					<b>111,116</b>
	Número de Coletores					<b>56</b>
	Área arredondada (m²)					113

## Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor TRANSEN - ITAPUÃ V1.7

Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.

	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)
Volume consumo: $V_{consumo} = \sum(Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$	Chuveiro	40°	15	10	1	150
	Torneira	40°	3	1	2	6
Volume armazenamento: $V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$	Ducha Higiênica	40°	3	1	2	6
Demanda energia útil $E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$	<b>Dados Sistema Completo</b>					
Área coletora $A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$	Pessoas por Apartamento		4			
Energia perdida média $E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$	Apartamentos		20			
PMDEE $PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL})$	Volume de Consumo (m³/dia)		12,96			
FC de instalação $FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{inimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$	Temperatura Ambiente (°C)		24			
	Volume Armazenamento (m³/dia)		7,98			
	Temperatura Consumo (°C)		40			
	Temperatura Armazenamento (°C)		50			
	Calor Específico Água kJ/kg K)		4,18			
	Massa Específica Água ρ, (kg/m³)		1000			
	Razão de Volumes		61,54%			
	<b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b>					
	IG (kWh/m².dia)		4,35			
	<b>TRANSEN - ITAPUÃ V1.7</b>					
	FC Instalação					1,045
	Frta					0,709
	Frul					6,443
	Área Coletor (m²)					1,73
	Beta °					22,9
	Gama °					30
	Beta Ótimo °					32,9
	PMDEE (kWh/m².dia)					2,689
	<b>Resultados</b>					
	Demanda Energia (kWh/dia)					240,768
	Perda Média (kWh/dia)					36,115
	Fração Solar					70%
	Área Coletora (m²)					<b>121,308</b>
	Número de Coletores					<b>71</b>
	Área arredondada (m²)					123

## Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor TRANSEN - MAGNUM V2.0

Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.

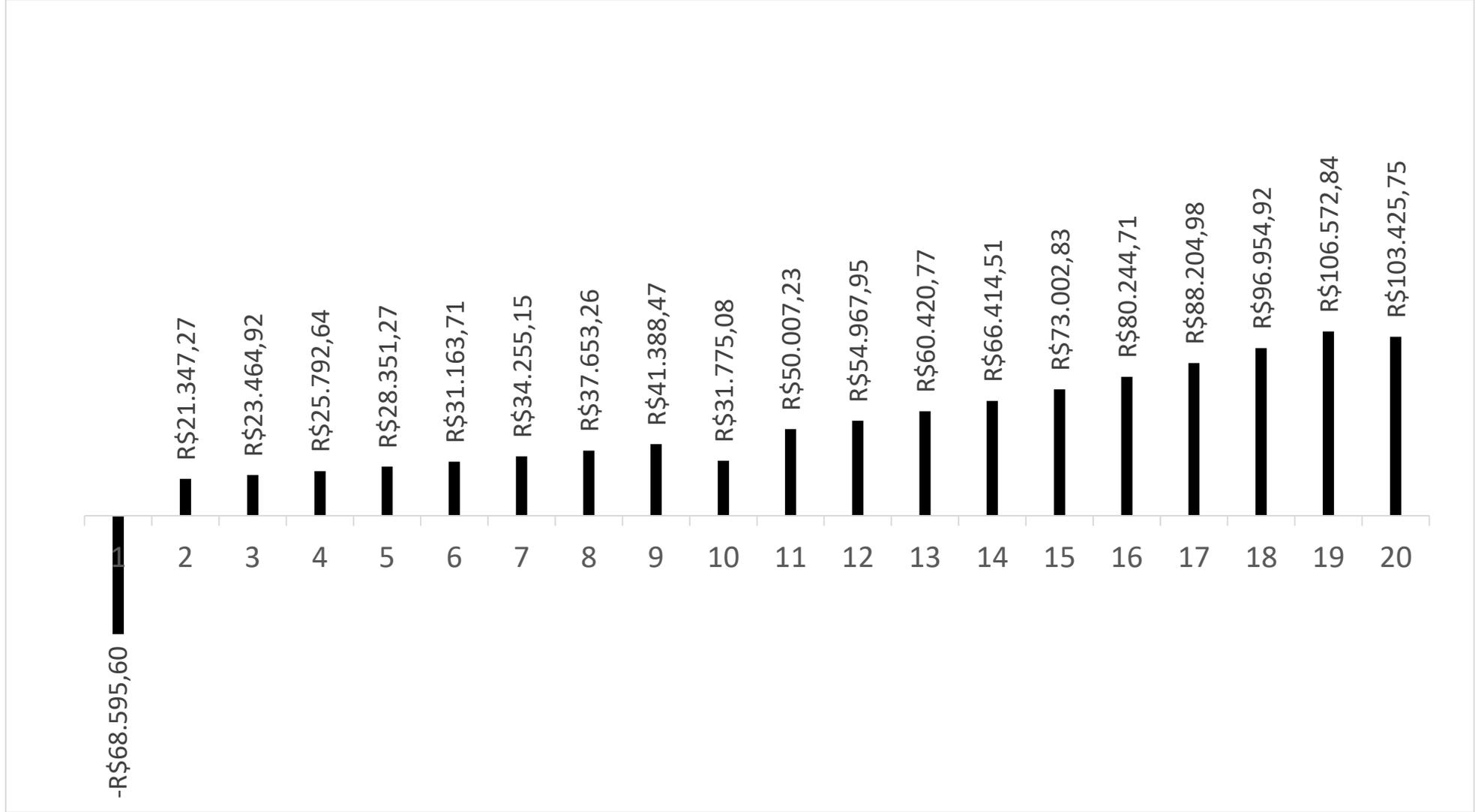
	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)
Volume consumo:	Chuveiro	40°	15	10	1	150
$V_{consumo} = \sum(Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$	Torneira	40°	3	1	2	6
Volume armazenamento:	Ducha Higiênica	40°	3	1	2	6
$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$	<b>Dados Sistema Completo</b>					
Demanda energia útil	<b>TRANSEN - MAGNUM V2.0</b>					
$E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$	Pessoas por Apartamento	4	FC Instalação		1,045	
Área coletora	Apartamentos	20	Frta		0,791	
$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$	Volume de Consumo (m³/dia)	12,96	Frul		6,708	
Energia perdida média	Temperatura Ambiente (°C)	24	Área Coletor (m²)		2	
$E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$	Volume Armazenamento (m³/dia)	7,98	Beta °		22,9	
PMDEE	Temperatura Consumo (°C)	40	Gama °		30	
$PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL})$	Temperatura Armazenamento (°C)	50	Beta Ótimo °		32,9	
FC de instalação	Calor Específico Água kJ/kg K)	4,18	PMDEE (kWh/m²/dia)		3,058	
$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{inimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$	Massa Específica Água ρ, (kg/m³)	1000	<b>Resultados</b>			
	Razão de Volumes	61,54%	Demanda Energia (kWh/dia)		240,768	
	<b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b>					
	IG (kWh/m².dia)	4,35	Perda Média (kWh/dia)		36,115	
	<b>Resultados</b>					
			Fração Solar		70%	
			Área Coletora (m²)		<b>106,649</b>	
			Número de Coletores		<b>54</b>	
			Área arredondada (m²)		108	

### Dimensionamento SAS - NBR 15569 Anexo B2 - Coletor UNISOL - BRA 2000

Recomendação: residências unifamiliares, fração solar 70%, sem sombreamento nos coletores.

	Item	T Consumo °C	Qmax (L/min)	t (min)	Frequência (dia)	Total (L/dia)
<b>Volume consumo:</b>	Chuveiro	40°	15	10	1	150
$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$	Torneira	40°	3	1	2	6
<b>Volume armazenamento:</b>	Ducha Higiênica	40°	3	1	2	6
$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$	<b>Dados Sistema Completo</b>					
<b>Demanda energia útil</b>	Pessoas por Apartamento		4	<b>UNISOL - BRA 2000</b>		
$E_{útil} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$	Apartamentos		20	FC Instalação	1,045	
<b>Área coletora</b>	Volume de Consumo (m³/dia)		12,96	Frta	0,772	
$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdar}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$	Temperatura Ambiente (°C)		24	Frul	7,016	
<b>Energia perdida média</b>	Volume Armazenamento (m³/dia)		7,98	Área Coletor (m²)	1,99	
$E_{perdar} = 0,15 \times E_{útil}$	Temperatura Consumo (°C)		40	Beta °	22,9	
<b>PMDEE</b>	Temperatura Armazenamento (°C)		50	Gama °	30	
$PMDEE = 4,901 \times (Fr \tau \alpha - 0,0249 \times Fr_{UL})$	Calor Específico Água kJ/kg K)		4,18	Beta Ótimo °	32,9	
<b>FC de instalação</b>	Massa Específica Água ρ, (kg/m³)		1000	PMDEE (kWh/m²/dia)	2,927	
$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{inimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$	Razão de Volumes		61,54%	<b>Resultados</b>		
	<b>Dados Cidade - Rio de Janeiro</b>			Demanda Energia (kWh/dia)	240,768	
	IG (kWh/m².dia)		4,35	Perda Média (kWh/dia)	36,115	
				Fração Solar	70%	
				Área Coletora (m²)	<b>111,411</b>	
				Número de Coletores	<b>56</b>	
				Área arredondada (m²)	111	

## APÊNDICE B – Fluxo de caixa do projeto



### APÊNDICE C – Planilha de análise financeira

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Período	Ano	Economia de Energia	Reajuste	Valor com reajuste	Manutenção	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa inst. Zero	Somatório de valores instantane zero
1	2018	R\$ -	0,0%	R\$ -	R\$ -	-R\$ 68.595,60	R\$ -	-R\$ 68.595,60
2	2019	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 21.347,27	R\$ -	R\$ 21.347,27	R\$ 17.661,63	-R\$ 50.933,97
3	2020	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 23.464,92	R\$ -	R\$ 23.464,92	R\$ 17.658,42	-R\$ 33.275,55
4	2021	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 25.792,64	R\$ -	R\$ 25.792,64	R\$ 17.655,21	-R\$ 15.620,34
5	2022	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 28.351,27	R\$ -	R\$ 28.351,27	R\$ 17.652,00	R\$ 2.031,66
6	2023	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 31.163,71	R\$ -	R\$ 31.163,71	R\$ 17.648,78	R\$ 19.680,44
7	2024	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 34.255,15	R\$ -	R\$ 34.255,15	R\$ 17.645,57	R\$ 37.326,01
8	2025	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 37.653,26	R\$ -	R\$ 37.653,26	R\$ 17.642,36	R\$ 54.968,38
9	2026	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 41.388,47	R\$ -	R\$ 41.388,47	R\$ 17.639,15	R\$ 72.607,53
10	2027	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 45.494,20	-R\$ 13.719,12	R\$ 31.775,08	R\$ 12.317,69	R\$ 84.925,23
11	2028	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 50.007,23	R\$ -	R\$ 50.007,23	R\$ 17.632,74	R\$ 102.557,96
12	2029	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 54.967,95	R\$ -	R\$ 54.967,95	R\$ 17.629,53	R\$ 120.187,49
13	2030	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 60.420,77	R\$ -	R\$ 60.420,77	R\$ 17.626,32	R\$ 137.813,82
14	2031	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 66.414,51	R\$ -	R\$ 66.414,51	R\$ 17.623,12	R\$ 155.436,93
15	2032	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 73.002,83	R\$ -	R\$ 73.002,83	R\$ 17.619,91	R\$ 173.056,84
16	2033	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 80.244,71	R\$ -	R\$ 80.244,71	R\$ 17.616,70	R\$ 190.673,55
17	2034	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 88.204,98	R\$ -	R\$ 88.204,98	R\$ 17.613,50	R\$ 208.287,05
18	2035	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 96.954,92	R\$ -	R\$ 96.954,92	R\$ 17.610,30	R\$ 225.897,34
19	2036	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 106.572,84	R\$ -	R\$ 106.572,84	R\$ 17.607,09	R\$ 243.504,43
20	2037	R\$ 19.420,73	9,9%	R\$ 117.144,87	-R\$ 13.719,12	R\$ 103.425,75	R\$ 15.542,25	R\$ 259.046,69

## ANEXO A – Mapa de irradiação global anual média



Fonte: Solargis, 2013