

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ANA JÚLIA DE LIMA SANTOS

**ANÁLISE DA COMPLEMENTARIDADE ENTRE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM
UNIDADES PROSSUMIDORAS DO SUL DE SANTA CATARINA**

ARARANGUÁ, SC

2019

ANA JÚLIA DE LIMA SANTOS

**ANÁLISE DA COMPLEMENTARIDADE ENTRE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM
UNIDADES PROSSUMIDORAS DO SUL DE SANTA CATARINA**

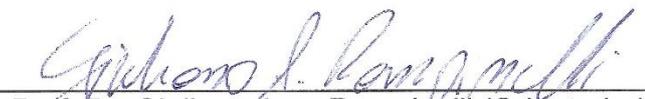
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do Título de
Engenheiro(a) de Energia.

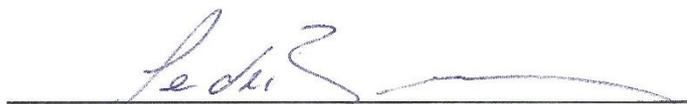
Orientador: Prof. Dr. Giuliano Arns
Rampinelli

Coorientadora: Profa. Me. Letícia Toret
Scarabelot

Araranguá, 06 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Leonardo Elzeire Bremermann
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Thiago Dutra
Universidade Federal de Santa Catarina

**ANÁLISE DA COMPLEMENTARIDADE ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E
SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM UNIDADES
PROSSUMIDORAS DO SUL DE SANTA CATARINA**

Ana Júlia de Lima Santos*

RESUMO

A energia solar pode ser convertida em energia térmica, utilizada no aquecimento de água através de coletores solares, ou em energia elétrica, por meio de sistemas fotovoltaicos. Visto que o chuveiro elétrico representa uma parcela significativa do consumo residencial brasileiro, o uso da energia solar para esta finalidade se justifica pelas suas aplicações. A proposta deste trabalho é analisar a complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água, em termos técnicos (área disponível) e econômicos (custo de implementação), a fim de suprir a demanda de energia elétrica e de água quente para banho de residências do extremo sul catarinense. Foram analisados quatro sistemas fotovoltaicos (análise amostral) instalados nas cidades de Turvo, Criciúma e Meleiro, com potências nominais entre 1,25 e 4,16 kWp. Os sistemas que originalmente supriam toda a demanda de energia elétrica da unidade consumidora foram redimensionados a fim de excluir a demanda energética do chuveiro elétrico, a qual foi projetada para ser atendida por dois métodos diferentes: exclusivamente por um sistema de aquecimento solar de água ou por um sistema de aquecimento híbrido solar/elétrico. Os sistemas híbridos foram dimensionados conforme a norma ABNT NBR 15569, enquanto os sistemas de aquecimento puramente solar foram simulados através do software System Advisor Model (SAM), assim como o redimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. Por fim, verificou-se que há área disponível suficiente na maioria dos casos analisados, porém, nas quatro unidades consumidoras observadas, a complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água não é economicamente viável, sendo que a integração única do sistema fotovoltaico se apresenta mais oportuna e atrativa.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos; Aquecimento Solar de Água; Complementaridade; Chuveiro Elétrico.

**COMPLEMENTARY ANALYSIS BETWEEN PHOTOVOLTAIC AND SOLAR
WATER HEATING SYSTEMS IN SOUTHERN SANTA CATARINA PROSUMER
UNITS
ABSTRACT**

Solar energy can be converted into thermal energy, which is used to heat water through solar collectors, or to electrical energy through photovoltaic systems. Since the electric shower represents a significant portion of the Brazilian residential consumption, the use of solar energy for this purpose is justified by its applications. The purpose of this paper is to analyze the complementarity between photovoltaic and solar water heating systems, in technical terms (available area) and economical (implementation cost), in order to supply the demand for electricity and hot water for bathing residences of the extreme south of Santa Catarina. Four photovoltaic systems (sample analysis) were installed in the cities of Turvo, Criciúma and Meleiro, with nominal powers between 1.25 and 4.16 kWp. Systems that originally met all of the consumer unit's electrical power requirements have been scaled to exclude the energy demand of the electric shower, which is designed to be met by two different methods: exclusively by a solar water heating system or by a solar/electric hybrid heating system. Hybrid systems were sized according to ABNT NBR 15569, while purely solar heating systems were simulated using the System Advisor Model (SAM) software, as well as the resizing of photovoltaic systems. Finally, it was found that there is sufficient available area in most of the cases analyzed, however, in the four consumer units observed, the complementarity between photovoltaic systems and solar water heating systems is not economically viable, and the unique integration of the photovoltaic system is more timely and attractive.

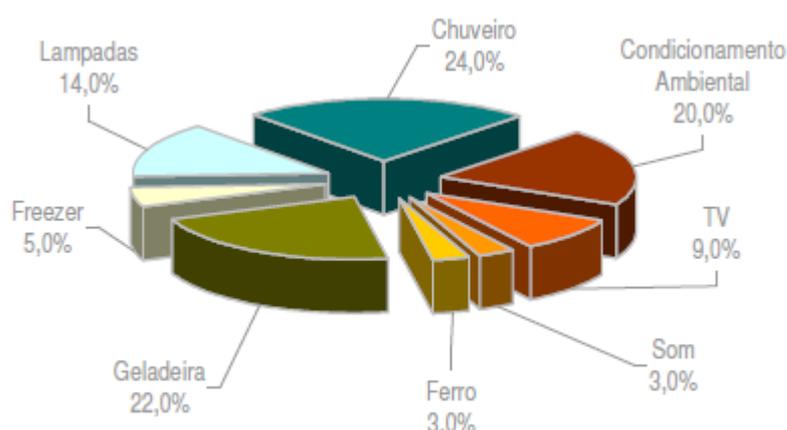
Keywords: Photovoltaic Systems; Solar water heating; Complementarity; Electric shower.

*Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900- 000. E-mail: anajlimasantos@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O consumo final de energia elétrica no país em 2018 registrou um crescimento de 1,4%, sendo o setor residencial um dos que mais contribuíram para este aumento em valores absolutos (BEN, 2019). Dentre os usos finais de eletricidade no setor residencial brasileiro, o chuveiro elétrico é o equipamento com maior parcela de consumo de energia elétrica, representando um percentual médio de 24% do consumo total (Figura 1), seguido do refrigerador e do ar condicionado (PROCEL; ELETROBRÁS, 2007).

Figura 1 – Consumo final na carga residencial.



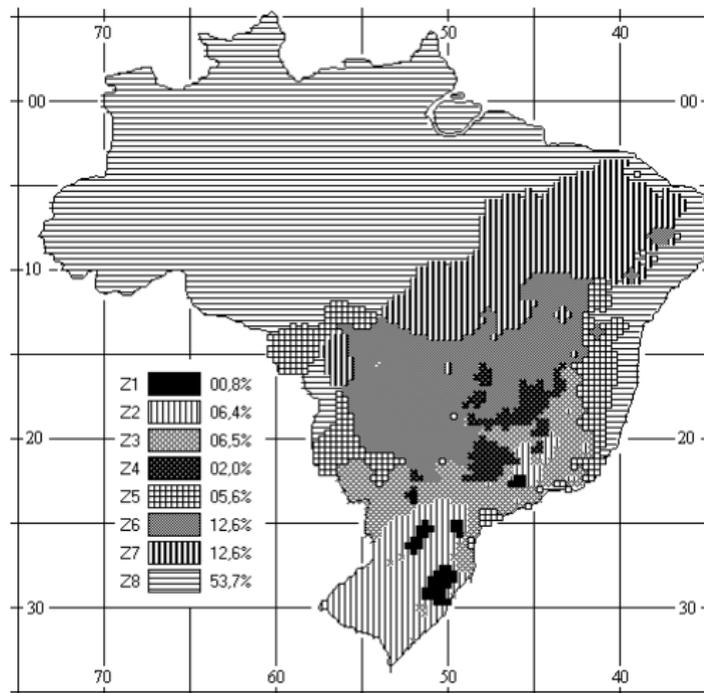
Fonte: PROCEL; ELETROBRÁS, 2007.

O consumo do chuveiro elétrico é bastante variável em função das regiões geográficas, o extenso território brasileiro apresenta uma grande diversidade climática e com isso, os hábitos de consumo de água quente acompanham a variação de temperatura das regiões. A região Sul possui uma média de temperatura baixa durante grande parte do ano, tendo assim o chuveiro como principal consumidor de energia no verão e no inverno, consumindo em média 41% da energia residencial durante o ano (FEDRIGO; GONÇALVES; LUCAS, 2009).

Outra perspectiva de análise dos usos finais de energia elétrica são as zonas bioclimáticas, cujo mapeamento propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (ABNT, 2003). A zona bioclimática 1 é

caracterizada por ser uma região mais fria e apresenta desconforto bioclimático principalmente devido ao frio. A zona bioclimática 2 é composta por regiões mais ao Sul do país com clima variando de ameno a frio, com estações bem definidas. A zona bioclimática 3 apresenta um clima mais ameno, com verão e inverno bem marcados. A zona bioclimática 4 abrange regiões que, normalmente, apresentam-se com um clima mais árido, possuindo uma grande variação de temperatura entre o dia e a noite. A zona bioclimática 5 é uma zona de clima ameno, com verão e inverno bem marcados. A zona bioclimática 6 abrange regiões de baixas amplitudes anuais, normalmente localizadas no interior. A zona bioclimática 7 caracteriza-se por clima quente, com pouca variação ao longo do ano, onde as estações são definidas como de seca e de chuva. E, por fim, a zona bioclimática 8 é composta por regiões marcadas pelo clima quente úmido (ELETROBRAS/PROCEL, 2014). A Figura 2 apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro.

Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT, 2003.

Segundo Fedrigo, Gonçalves e Lucas (2009), o chuveiro é responsável por 37% do consumo total no verão e 45% no inverno na Zona 1; e 1% do total no verão e 6% no inverno na Zona 7, representando a maior e a menor médias,

respectivamente. Já na zona bioclimática 2, a qual os sistemas analisados pertencem, o chuveiro elétrico apresenta um consumo de 30% do consumo total no verão e 36% no inverno.

O consumo de água quente para o banho e, conseqüentemente, o consumo de energia para aquecer a água ainda é fortemente dependente do comportamento do consumidor. Tal consumo é influenciado por características econômicas e socioculturais, o que requer um estudo abrangente para caracterizar o perfil de consumo das diversas regiões do país (NASPOLINI; RÜTHER, 2016).

O aquecimento de água para banho pode ser feito através de energia elétrica, gás, energia solar ou sistemas híbridos, que mesclam aquecedores solares e energia elétrica, por exemplo. No Brasil, a eletricidade é a fonte de energia para aquecimento de água para banho mais utilizada, devido ao seu baixo custo de aquisição, apesar do alto custo de funcionamento.

Entre todas as fontes de energias disponíveis, a energia solar é a mais abundante e pode ser explorada nas formas direta e indireta. Se 0,1% da radiação solar que atinge a superfície terrestre fosse convertida em energia elétrica, considerando uma eficiência de 10%, seria gerada uma quantidade equivalente a quatro vezes a capacidade de produção mundial instalada. No entanto, 80% da energia utilizada atualmente no mundo possui origem em fontes não renováveis (THIRUGNANASAMBANDAM; INIYAN; GOIC, 2010 apud ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO; CARLO, 2012).

O Brasil recebe níveis médios de radiação solar superiores aos observados na maioria dos países europeus e com variabilidade sazonal baixa, devido à grande parte do país estar presente na zona tropical (MARTINS; PEREIRA, 2011). Neste contexto, uma alternativa para a redução do consumo causado pelo chuveiro elétrico é a substituição do aquecimento convencional de água por sistemas de aquecimento alimentados por energia solar.

O aproveitamento da energia solar é obtido por efeito fotovoltaico ou térmico. No Brasil, a difusão da geração de energia a partir da energia solar teve destaque na geração de calor (para aquecimento de água) e na geração de eletricidade fotovoltaica. Nesse caso, a geração de eletricidade ocorre de forma distribuída ou centralizada (BNDES, 2018).

Em 2018, a micro e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica atingiram uma capacidade instalada cerca de três vezes maior que a potência registrada no ano anterior (BEN, 2019). Este aumento indica o potencial do país na produção de energia solar fotovoltaica, que neste mesmo ano apresentou uma participação do setor residencial de 38,7% na potência total instalada de geração distribuída (ABSOLAR, 2018). Segundo os registros de geração da ANEEL (2019), atualmente o setor residencial possui cerca de 74 mil unidades consumidoras com geração distribuída, contribuindo com mais de 392 mil quilowatts de potência instalada.

Com relação ao aquecimento de água, verifica-se que a energia solar tem sido usada para esse fim no Brasil, principalmente no setor residencial de renda média e alta, porém em apenas uma parcela pequena das residências, apesar do grande potencial existente (LABEEE, 2010). Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), a economia gerada por um sistema de aquecimento solar térmico (SAS) pode chegar a 50% e, neste contexto, representa uma solução oportuna para o aquecimento de água para banho.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a complementaridade técnica e econômica entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água a partir de uma amostra composta por quatro unidades prosumidoras do extremo sul catarinense.

1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os sistemas que compõem a amostra;
- Estimar o consumo do chuveiro elétrico de cada residência;
- Redimensionar os sistemas originais e simular os sistemas fotovoltaicos excluindo a energia consumida pelo chuveiro;
- Dimensionar e simular os sistemas de aquecimento solar de água, em função de coletores classe A e classe E;

- Estimar o custo de instalação dos sistemas;
- Mensurar área necessária para instalação;
- Comparar os valores obtidos para os sistemas unicamente fotovoltaicos e as propostas com sistemas complementares de aquecimento solar de água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão descritos os pressupostos teóricos básicos relacionados à temática estudada no presente trabalho.

2.1. Geração Distribuída

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (ANEEL, 2015).

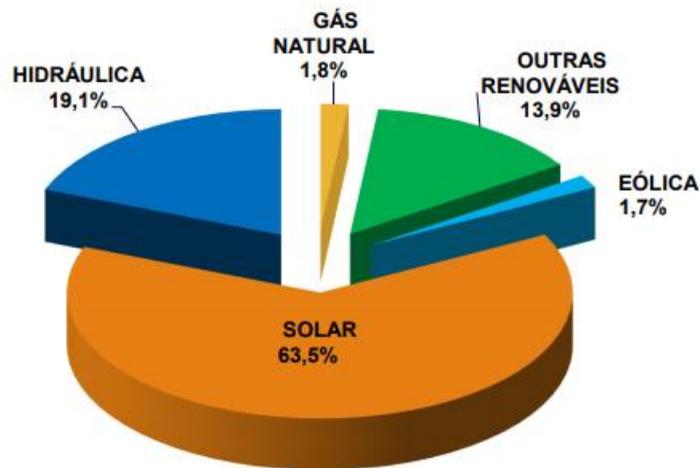
Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

A Geração Distribuída (GD) destaca-se por permitir a produção de energia elétrica mais próxima do consumidor e sua importância está, principalmente, em reduzir a utilização de combustíveis fósseis, diminuindo a emissão de gases poluentes na atmosfera e, paralelamente, diversificando a matriz energética (SILVA et al., 2018).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, no Brasil existe cerca de 1,2 GW de potência instalada de geração distribuída, entre centrais geradoras hidrelétrica, eólica, fotovoltaica e térmica. Com destaque para energia solar fotovoltaica com mais de 100 mil unidades consumidoras com geração distribuída e mais de 1 GW de potência instalada.

O Balanço Energético Nacional aponta que no Brasil, a micro e minigeração distribuídas possuem a participação das fontes de geração hidráulica, solar, eólica, gás natural e outras renováveis. Em 2018 foram gerados 828 GWh de energia distribuída, com destaque para a participação da energia solar com 63,5% da energia gerada (BEN, 2019). A Figura 3 indica a participação de cada fonte na energia distribuída total gerada. Em relação ao número de instalações, a energia solar fotovoltaica representa praticamente 100% das usinas de geração distribuída instaladas (ANEEL, 2019).

Figura 3 – Participação de cada fonte na energia gerada em 2018.



Fonte: BEN, 2019.

2.2. Sistema de Compensação de Energia Elétrica

A Resolução Normativa nº 687 de 2015, define o sistema de compensação de energia elétrica como aquele no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora. Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto

tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses (ANEEL, 2016).

Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será cobrado o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), o débito será referente apenas à parcela da fatura correspondente à demanda contratada (ANEEL, 2016). A Figura 4 ilustra um esquema do sistema de compensação de energia elétrica.

Figura 4 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica.



Fonte: ANEEL, 2016.

Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios), em local diferente do ponto de consumo (ANEEL, 2016). A Figura 5 ilustra a utilização dos créditos de energia.

Figura 5 – Sequência de compensação de créditos de energia elétrica.



Fonte: ANEEL, 2016 apud MARTINS, 2018.

Conforme a REN 687/2015, empreendimento com múltiplas unidades consumidoras é caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída.

A geração compartilhada é caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015).

O autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física

que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, o autoconsumo remoto é a modalidade de geração com maior número de centrais geradoras no país (ANEEL, 2019).

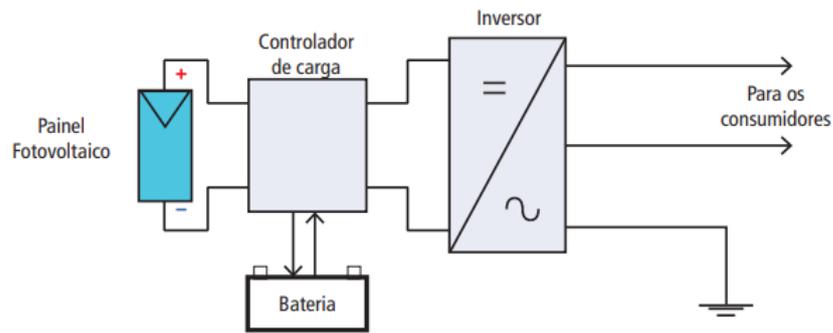
2.3. Energia Solar Fotovoltaica

Através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia solar em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável (RÜTHER, 2004). Sistema fotovoltaico (SFV) é a denominação que recebe o conjunto de elementos necessários para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrônicos. O SFV tem o módulo fotovoltaico como principal componente e pode incluir, dependendo da aplicação, dispositivos para controle, supervisão, armazenamento e condicionamento de energia elétrica (VIANA; MONTENEGRO; RÜTHER, 2010).

Os sistemas Fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Em ambos os casos, podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou combinados com uma ou mais fontes de energias, quando são chamados de híbridos. A utilização de cada uma dessas opções depende da aplicação e/ou da disponibilidade dos recursos energéticos (GTES, 2014).

Sistemas isolados são aqueles que não possuem conexão com a rede elétrica pública de fornecimento de energia. Os sistemas isolados normalmente necessitam de um banco de baterias para armazenar a energia gerada e fornecê-la nos períodos nos quais não há radiação solar. Os sistemas fotovoltaicos que se enquadram neste caso usualmente têm os seguintes componentes principais: painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor, como mostrado na Figura 6 (VIANA; MONTENEGRO; RÜTHER, 2010).

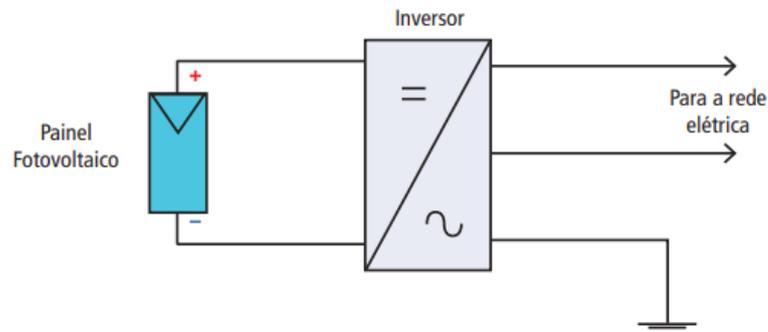
Figura 6 – Constituição básica do sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: VIANA; MONTENEGRO; RÜTHER, 2010.

Sistemas conectados à rede são aqueles efetivamente conectados à rede elétrica pública. Neste caso, a energia gerada é injetada diretamente na rede e não há necessidade de banco de baterias. Os sistemas conectados são constituídos basicamente de painel fotovoltaico e inversor (Figura 7), aos quais se somam os componentes de comando e proteção (VIANA; MONTENEGRO; RÜTHER, 2010).

Figura 7 – Constituição básica do sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: VIANA; MONTENEGRO; RÜTHER, 2010.

Os sistemas híbridos, conforme mencionado anteriormente, são aqueles em que existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, grupo gerador a diesel, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. Estes sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a otimizar a operação para o usuário. Existem várias configurações possíveis, assim como estratégias de uso de cada fonte de energia (GTES, 2014).

2.4. Energia Solar Térmica

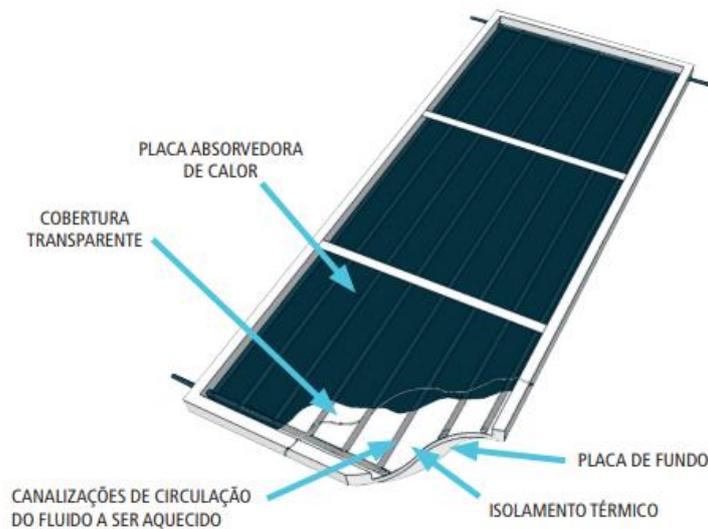
A radiação solar pode ser absorvida e transformada em energia térmica a partir de superfícies projetadas para essa finalidade, permitindo o seu uso como fonte de aquecimento para fluidos como a água (BHOWMIK, AMIN; 2017 apud SOUSA et al., 2018). O aquecimento solar baseia-se na capacidade de absorver a energia solar para o aquecimento da água e mantê-la aquecida por maior período de tempo possível. Estes sistemas são constituídos por coletores, reservatório térmico, fonte auxiliar de energia, sistema de controle e distribuição de água quente (UFSC/LABEEE, 2010 apud BATISTI; MARANGONI; ZEFERINO, 2018).

Em um sistema de aquecimento solar, o coletor é o equipamento responsável pela conversão da energia solar em energia térmica. Quanto à forma de captação da energia solar, os coletores solares podem ser classificados em duas categorias: coletores planos e coletores concentradores. Os coletores planos podem ser construídos com absorvedor de placa plana ou com tubos evacuados, sendo o absorvedor de placa plana o tipo mais conhecido e difundido de coletor solar para o aquecimento de água (KREZNINGER et al., 2010).

Os coletores solares de placa plana são, essencialmente, constituídos por uma caixa (de metal, madeira tratada ou fibra de vidro) com isolamento térmico (lã de vidro, lã de rocha ou poliuretano expandido) no fundo e laterais, uma tampa transparente à radiação solar (normalmente vidro) e um absorvedor (chapa metálica) no seu interior, com pequenos tubos por onde escoam o fluido. O absorvedor é pintado de preto fosco ou, mais raramente, provido de um acabamento espectralmente seletivo (KREZNINGER et al., 2010). A Figura 8 ilustra os componentes de um coletor solar de placa plana.

Segundo Krenzinger, coletores de placa plana, quando bem construídos, podem aquecer a água da temperatura ambiente até cerca de 100°C, dependendo da temperatura ambiente e da radiação solar, e funcionam muito bem para temperaturas em torno de 60°C.

Figura 8 – Detalhes construtivos de um coletor solar de placa plana.



Fonte: ABREU; GONÇALVES; FILHO, 2010.

Os coletores de tubo evacuado são mais adequados a locais de clima frio ou onde se desejem temperaturas mais altas. Devido a seu elevado coeficiente de perdas térmicas, os coletores de placa plana não são adequados quando são desejadas temperaturas mais elevadas ($> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nestes casos é necessário reduzir o coeficiente de perdas, o que pode ser obtido em coletores de tubo evacuado. Externamente, um coletor de tubo evacuado é formado por um conjunto de unidades tubulares de vidro com placas absorvedoras no seu interior, onde o ar foi retirado. Ao fazer-se vácuo (10^{-2} a 10^{-5} bar) no interior do tubo, as perdas por convecção são praticamente anuladas. O absorvedor pode ter a forma plana, convexa ou cilíndrica (KREZNINGER et al., 2010).

Quanto ao armazenamento, a quase totalidade dos sistemas de aquecimento solar de água para fins residenciais é por acumulação, pois a geração de aquecimento das placas coletoras é inferior à demanda instantânea de água aquecida. Além disso, como os períodos de consumo podem ocorrer em momentos distintos ao período de ganho de energia térmica solar, o uso de termo-acumulação é praticamente indispensável (ABREU; GONÇALVES; FILHO, 2010).

Das formas de instalação podem ser destacadas a circulação passiva (termossifão natural), quando a circulação da água ocorre exclusivamente por diferença de densidades proporcionada pelo aquecimento da água, ou a circulação

ativa, quando ocorre circulação forçada através de uma bomba. O sistema de aquecimento pode ser direto, quando o fluido aquecido é o mesmo que será consumido (a própria água), ou pode ser indireto, quando se usa um circuito fechado para o fluido que circula nas placas e um trocador de calor para transferir esse calor absorvido para a água (UFSC/LABEEE, 2010 apud BATISTI; MARANGONI; ZEFERINO, 2018).

2.5. Estado da Arte

O trabalho desenvolvido por Altoé, Oliveira Filho e Carlo (2012) teve por objetivo analisar a eficiência energética de um sistema solar térmico com apoio elétrico para atender diferentes demandas de água quente em uma residência unifamiliar, comparativamente ao uso de chuveiro elétrico. Dentre os resultados obtidos, a participação do chuveiro elétrico no consumo total de energia elétrica da residência encontrada no trabalho foi consideravelmente superior à média nacional de 24%, apontada pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso do Procel, o que foi justificado pela popularização de chuveiros elétricos com altas potências desde a realização da pesquisa, com aumento de potências nominais típicas de 3.000 W para 8.000 W. Os autores concluíram que programas computacionais de simulação termoenergética são uma ótima opção para avaliar o uso de energias renováveis em edificações, permitindo uma análise rápida de diferentes fontes energéticas e padrões de uso.

No artigo de Sousa et al. (2018), o objetivo foi dimensionar um sistema de energia solar térmica, baseado na NBR 15569, para o aquecimento de água sanitária em uma residência com 5 habitantes no município de Itajubá, Minas Gerais, além de analisar a sua viabilidade econômica em comparação ao uso do chuveiro elétrico. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que é necessário um sistema com 4m² de área útil dos coletores solares e que os meses de fevereiro, março, junho e novembro necessitam de fornecimento complementar de energia elétrica. Já a avaliação econômica demonstrou que o projeto, nos moldes propostos, é viável economicamente e apresenta o retorno do investimento a partir do 3º ano.

A pesquisa de Batisti, Marangoni e Zeferino (2018) teve por objetivo realizar um estudo de viabilidade para a instalação de um sistema para aquecimento solar de

água em um hotel localizado no município de Medianeira no estado do Paraná. Como resultado, os autores encontraram que o investimento necessário somente para a compra do sistema é de R\$ 36.213,00, no entanto, com a necessidade de realizar reformas e adequações na tubulação hidráulica, o investimento total seria de R\$ 66.000,00. A partir da análise dos indicadores financeiros, os autores identificaram o valor de *payback time* maior que a vida útil do sistema e TIR e VPL negativos, concluindo que não há viabilidade econômica para a execução do projeto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta os sistemas fotovoltaicos analisados, a metodologia empregada para seu redimensionamento de potência e o dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar de água. As análises técnica e econômica estão descritas na sequência.

3.1. Sistemas Fotovoltaicos

A amostra analisada é composta por quatro unidades prossumidoras, das quais duas estão localizadas na cidade de Turvo/SC e as demais em Criciúma/SC e Meleiro/SC. Os sistemas fotovoltaicos instalados estão caracterizados na Tabela 1, onde a potência instalada corresponde à potência total do sistema, a potência dos módulos indica a potência individual de cada módulo utilizado na instalação e o número de módulos corresponde à quantidade necessária para atingir a potência instalada. A inclinação é a angulação do sistema em relação ao eixo horizontal e o azimute corresponde à orientação do sistema em relação ao norte geográfico.

Tabela 1 – Características dos sistemas fotovoltaicos instalados.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Pot. Instalada (Wp)	1250	2080	3710	4160
Pot. dos módulos (Wp)	250	260	265	260
Nº de Módulos	5	8	14	16
Inclinação	25°	20°	20°	20°
Azimute	60° L	60° O	0° N	30° O \ 30° L

Fonte: a autora (2019).

As unidades consumidoras foram analisadas com base em dados mensais de geração e consumo de energia elétrica, obtidos durante o período de um ano. A geração de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos instalados e o consumo das unidades estão representados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Geração de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos instalados (kWh).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Janeiro	170,91	250,00	482,28	484,82
Fevereiro	162,81	270,00	435,36	430,94
Março	151,12	230,00	467,45	445,68
Abril	128,89	227,00	346,91	315,02
Mai	118,16	178,00	360,44	342,85
Junho	78,72	166,00	211,62	348,26
Julho	116,23	160,00	377,13	260,26
Agosto	123,26	213,00	360,98	303,50
Setembro	135,21	219,00	392,26	412,25
Outubro	103,67	230,00	313,71	268,21
Novembro	161,51	270,00	455,84	362,53
Dezembro	140,21	290,00	418,88	523,01
Total	1590,70	2703,00	4622,86	4497,33

Fonte: a autora (2019).

Tabela 3 – Consumo de energia elétrica (kWh).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Janeiro	321,91	238,00	1018,28	967,82
Fevereiro	289,81	257,00	836,36	927,94
Março	316,12	284,00	844,45	831,68
Abril	196,89	225,00	558,91	569,02
Mai	152,16	233,00	469,44	752,85
Junho	147,72	230,00	503,62	534,26
Julho	136,23	276,00	486,13	446,26
Agosto	146,26	229,00	473,98	414,50
Setembro	157,21	246,00	565,26	444,25
Outubro	133,67	229,00	476,71	389,21
Novembro	161,51	201,00	542,84	491,53
Dezembro	166,21	193,00	527,88	582,01
Total	2325,70	2841,00	7303,86	7351,33

Fonte: a autora (2019).

Visto que o consumo de água quente para o banho e, conseqüentemente, o consumo de energia para aquecer a água é fortemente dependente do comportamento do consumidor (NASPOLINI; RÜTHER, 2016), os perfis de consumo de água quente das residências foram determinados através de uma pesquisa com os moradores, onde foram coletados dados de potência do chuveiro elétrico utilizado, quantidade e duração dos banhos tomados diariamente por pessoa. Adotou-se a consideração de que durante os meses de inverno o chuveiro elétrico é utilizado na potência máxima, durante os meses de verão, 50% da potência máxima e nas demais estações, uma potência média entre a utilizada no verão e no inverno. De posse destes dados, foi possível determinar a energia consumida mensalmente para o aquecimento de água em cada unidade, em kWh (Tabela 4).

Tabela 4 – Consumo de energia do chuveiro elétrico (kWh).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Janeiro	58,13	38,75	94,94	116,25
Fevereiro	52,50	35,00	85,75	105,00
Março	87,19	58,13	142,41	174,38
Abril	84,38	56,25	137,81	168,75
Mai	87,19	58,13	142,41	174,38
Junho	112,50	75,00	183,75	225,00
Julho	116,25	77,50	189,88	232,50
Agosto	116,25	77,50	189,88	232,50
Setembro	84,38	56,25	137,81	168,75
Outubro	87,19	58,13	142,41	174,38
Novembro	84,38	56,25	137,81	168,75
Dezembro	58,13	38,75	94,94	116,25
Total	1028,44	685,63	1679,78	2056,88

Fonte: a autora (2019).

O redimensionamento dos sistemas fotovoltaicos foi realizado conforme os métodos utilizados para aquecer a água para banho. Nos casos em que a demanda de energia para o aquecimento foi atendida exclusivamente por um sistema de aquecimento solar de água (sem fonte auxiliar), o sistema fotovoltaico original foi redimensionado excluindo-se 100% da energia consumida pelo chuveiro elétrico. Já na hipótese de adoção de um sistema de aquecimento híbrido solar/elétrico, a energia

auxiliar tem origem do próprio sistema fotovoltaico e visto que, a norma NBR 15569 recomenda que 30% da energia requerida provenha de fonte auxiliar, o redimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado excluindo-se 70% da energia consumida pelo chuveiro elétrico do consumo original.

A fim de considerar possíveis perdas na geração, sombreamento e ineficiências dos sistemas originais, tal redimensionamento foi realizado a partir da produtividade dos sistemas fotovoltaicos instalados. A produtividade (Yield) é a razão entre a energia elétrica produzida (kWh) e a potência nominal do sistema fotovoltaico (kWp) (MELLO, 2016), conforme a equação 1.

$$Y = \frac{E_{gerada}}{P_{nominal}} \quad (\text{Eq. 1})$$

A partir do valor total de geração anual de energia elétrica e a potência instalada de cada sistema, Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro apresentaram índices de produtividade de 1273, 1300, 1246 e 1081 kWh/kWp, respectivamente. A potência dos sistemas fotovoltaicos redimensionados foi determinada ainda com a equação da produtividade, agora com a razão entre a energia demandada após a exclusão do consumo do chuveiro elétrico e a produtividade de cada sistema, calculada anteriormente.

Visto que os sistemas fotovoltaicos originais não atendem 100% do consumo de energia elétrica das residências e sim a uma parcela da energia consumida, a fração de geração dos sistemas originais foi mantida, por questões de comparação. Esta fração pode ser definida pela razão entre a energia anual gerada e a energia anual consumida de cada sistema, onde os valores encontrados foram 0,68, 0,95, 0,63 e 0,61 para Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro, respectivamente. A equação 2 representa o cálculo realizado para a determinação da potência nominal redimensionada.

$$P_{red} = \left(\frac{E_{dem}}{Y} \right) \times (R_{GC}) \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

P_{red} : potência nominal redimensionada (kWp);

E_{dem} : energia demandada após a exclusão do consumo do chuveiro elétrico (kWh);

Y : produtividade fotovoltaica (kWh/kWp);

R_{GC} : razão entre geração e consumo originais.

Após a determinação da potência nominal teórica dos sistemas fotovoltaicos redimensionados, o número de módulos foi obtido por meio de simulação no software SAM, mantendo-se o azimute, inclinação e potência individual dos módulos originalmente utilizados nos sistemas fotovoltaicos já instalados. Uma vez que o banco de dados do software não possui as cidades onde estão localizadas as amostras, a cidade de Florianópolis/SC, foi utilizada para fins de simulação. Segundo Roversi e Rampinelli (2018), há uma variação espacial da média diária anual da radiação solar de até 5% devido a pequena variação nas latitudes e longitudes entre as cidades, o que valida a aproximação.

3.2. Sistemas de Aquecimento Solar de Água

O dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar foi realizado considerando-se coletores solares certificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Foram analisados os coletores com maior e menor eficiência: classificação A (rendimento superior a 80,3%) e E (rendimento entre 52,3% e 59,3%), onde foram observados os valores de área coletora, coeficiente de ganho do coletor solar ($F_{r\alpha}$) e coeficiente de perdas (F_{rUL}). Os valores médios encontrados para tais parâmetros estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios de área, $F_{r\alpha}$ e F_{rUL} para coletores solares classe A e E.

	Classe A	Classe E
Área coletora (m ²)	2,56	3,54
$F_{r\alpha}$ (adimensional)	0,728	0,778
F_{rUL} (W/m ² °C)	2,922	9,346

Fonte: a autora (2019).

O dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar de água com fonte auxiliar, foi realizado conforme a norma ABNT NBR 15569, a qual estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água. A norma se aplica ao SAS composto por coletores solares planos e com sistema de aquecimento auxiliar (ABNT, 2008). A fração solar é a parcela de energia requerida para aquecimento de água que é suprida pela energia solar, a metodologia de cálculo empregada na norma considera uma fração solar de 70% e está representada pelas equações a seguir (Eq. 3 à Eq. 9):

$$V_{consumo} = \sum(Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

$V_{consumo}$ é o volume de água quente consumido diariamente (m^3);

Q_{pu} é a vazão da peça de utilização (m^3/s);

T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização (s);

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

O volume de consumo foi calculado variando-se a vazão da peça de utilização (chuveiro), a fim de se obter a energia útil mais aproximada aos valores encontrados através dos dados fornecidos pelos moradores. Ao final, a vazão encontrada foi padrão de 5 L/min ou $8,33 \times 10^{-5} m^3/s$ para os quatro sistemas analisados, enquanto que o tempo médio e a frequência de uso foram baseados na pesquisa com os moradores de cada residência.

$$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde:

$V_{consumo}$ é o volume de consumo diário (m^3);

$V_{armaz.}$ é o volume do sistema de armazenamento do SAS (m^3);

$T_{consumo}$ é a temperatura de consumo de utilização ($^{\circ}C$);

$T_{armaz.}$ é a temperatura de armazenamento da água ($^{\circ}C$);

$T_{ambiente}$ é a temperatura ambiente média do local de instalação ($^{\circ}C$).

O volume de armazenamento foi calculado considerando-se o volume de consumo encontrado anteriormente, a temperatura de consumo e a temperatura de armazenamento sugeridas pela norma (40°C e 60°C, respectivamente). Utilizou-se o método do mês crítico, que consiste na realização do dimensionamento considerando um balanço de energia durante o período do ano no qual ocorrem as condições médias mais desfavoráveis para o sistema (GTES, 2014). A análise dos dados de consumo indicou que o inverno é o período com maior demanda energética e menor disponibilidade de recurso solar, como consequência a temperatura ambiente utilizada foi a média dos meses de junho, julho e agosto (16,9°C), valores coletados na base de dados do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA).

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz.}} \times \rho \times C_p \times (T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}})}{3600} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde:

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil (kWh/dia);

$V_{\text{armaz.}}$ é o volume do sistema de armazenamento do SAS (m³);

ρ é a massa específica da água igual a 1000 (kg/m³);

C_p é o calor específico da água igual a 4,18 (kJ/kg);

$T_{\text{armaz.}}$ é a temperatura de armazenamento da água (°C);

T_{ambiente} é a temperatura ambiente média do local de instalação (°C).

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde:

E_{perdas} é o somatório das perdas térmicas (kWh/dia);

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil (kWh/dia).

A energia útil foi calculada considerando-se o volume de armazenamento encontrado anteriormente, massa e calor específicos indicados pela norma e as temperaturas de armazenamento e ambiente já citadas anteriormente (40°C e 60°C, respectivamente). Ao final, a energia útil encontrada foi muito próxima aos valores obtidos através da pesquisa com os moradores. Enquanto a energia referente às perdas, foi calculada pela equação indicada pela norma que considera que o somatório das perdas térmicas pode ser aproximado a 15% do valor da energia útil.

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

onde:

FC_{instal} é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

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

$\beta_{\acute{o}timo}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação (°);

γ é o ângulo de orientação do coletor em relação ao norte geográfico (°).

O fator de correção foi calculado considerando-se a mesma inclinação (β) e orientação (γ) dos sistemas fotovoltaicos originais e a inclinação ótima ($\beta_{\acute{o}timo}$) foi adotada conforme a sugestão da norma (módulo da latitude local + 10°).

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (\text{Eq. 8})$$

onde:

PMDEE é a produção média diária de energia do coletor solar (kWh/m²);

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

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor solar (W/m²°C).

A produção média diária de energia foi calculada considerando-se os valores médios de $Fr_{\tau\alpha}$ e Fr_{UL} dos coletores solares certificados pelo INMETRO.

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\acute{u}til} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (\text{Eq. 9})$$

onde:

$A_{coletora}$ é a área coletora (m²);

$E_{\acute{u}til}$ é a energia útil (kWh/dia);

E_{perdas} é o somatório das perdas térmicas (kWh/dia);

FC_{instal} é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

PMDEE é a produção média diária de energia do coletor solar (kWh/m²);

I_G é a irradiação global média diária para o local de instalação (kWh/m²/dia).

Por fim, a área coletora para os SAS de água com fonte auxiliar foi determinada utilizando-se os valores de energia útil, energia de perdas, fator de

correção e produção média diária de energia encontrados anteriormente. A irradiação global média foi obtida através do banco de dados do SWERA, considerando a aproximação das cidades da amostra à Florianópolis (da mesma forma como nos sistemas fotovoltaicos), respeitando a orientação e inclinação de cada sistema. Os valores utilizados foram 3,42, 3,46, 3,89 e 3,75 (kWh/m²dia) para os sistemas Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro possuem, respectivamente.

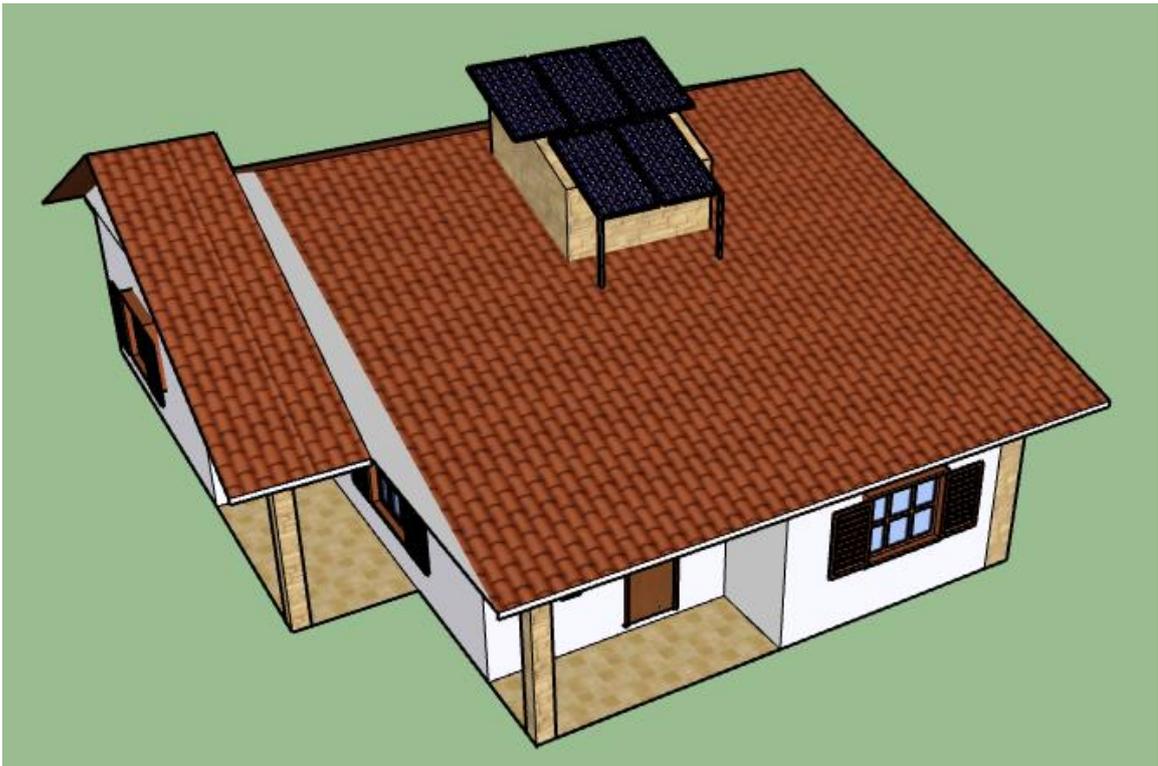
O dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar de água sem fonte auxiliar, onde o consumo de água quente é suprido exclusivamente por um SAS, foi realizado respeitando-se uma fração solar mínima de 90%, através do software SAM. Para aumentar a fração solar, aumentou-se o número de coletores solares, até que os sistemas Turvo 1 e Turvo 2 atingiram frações solares de 92%, Criciúma e Meleiro, 91%.

No software foram ajustados os valores de volume de consumo, baseado na pesquisa com os moradores e os valores médios de área, $F_{\text{r}\alpha}$ e F_{rUL} para coletores solares classe A e E. A escolha do volume dos reservatórios térmicos foi feita respeitando-se a recomendação da norma ABNT NBR 15569, a qual estabelece que o volume de armazenamento seja igual ou superior a 75% do volume de consumo. E considerando o volume dos reservatórios térmicos disponíveis no mercado, os sistemas propostos empregaram reservatórios de 200 litros para os SAS de Turvo e Criciúma e 300 litros para o sistema de Meleiro.

3.3. Análise Técnica

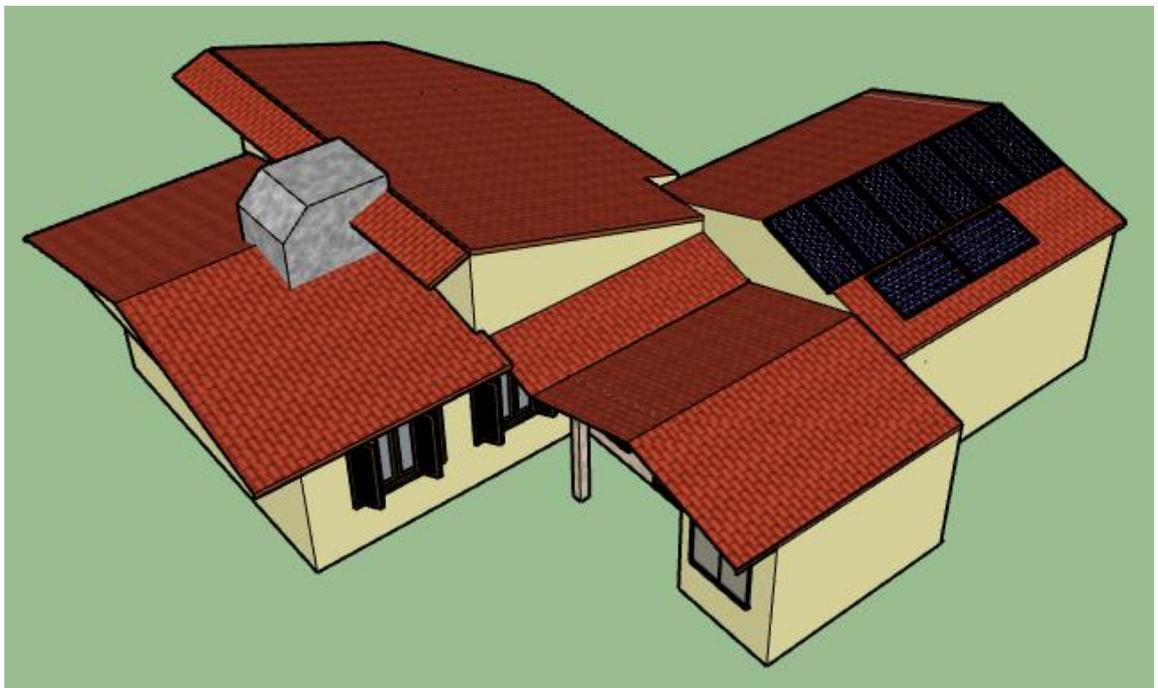
A análise técnica foi feita baseada na área disponível de cada telhado, onde foi considerada apenas a área de mesma orientação de instalação dos sistemas fotovoltaicos originais. Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro possuem, respectivamente, 85 m², 32 m², 52 m² e 50 m² de área disponível. Os sistemas fotovoltaicos originais são compostos por módulos com 1 metro de largura por 1,7 metros de comprimento e ocupam 8,5 m², 13,6 m², 23,8 m² e 27,2 m² nos sistemas Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro, respectivamente. As residências, incluindo os sistemas fotovoltaicos originais, foram representadas através do software SketchUp (Figuras 9 a 12).

Figura 9 – Representação do sistema de Turvo 1.



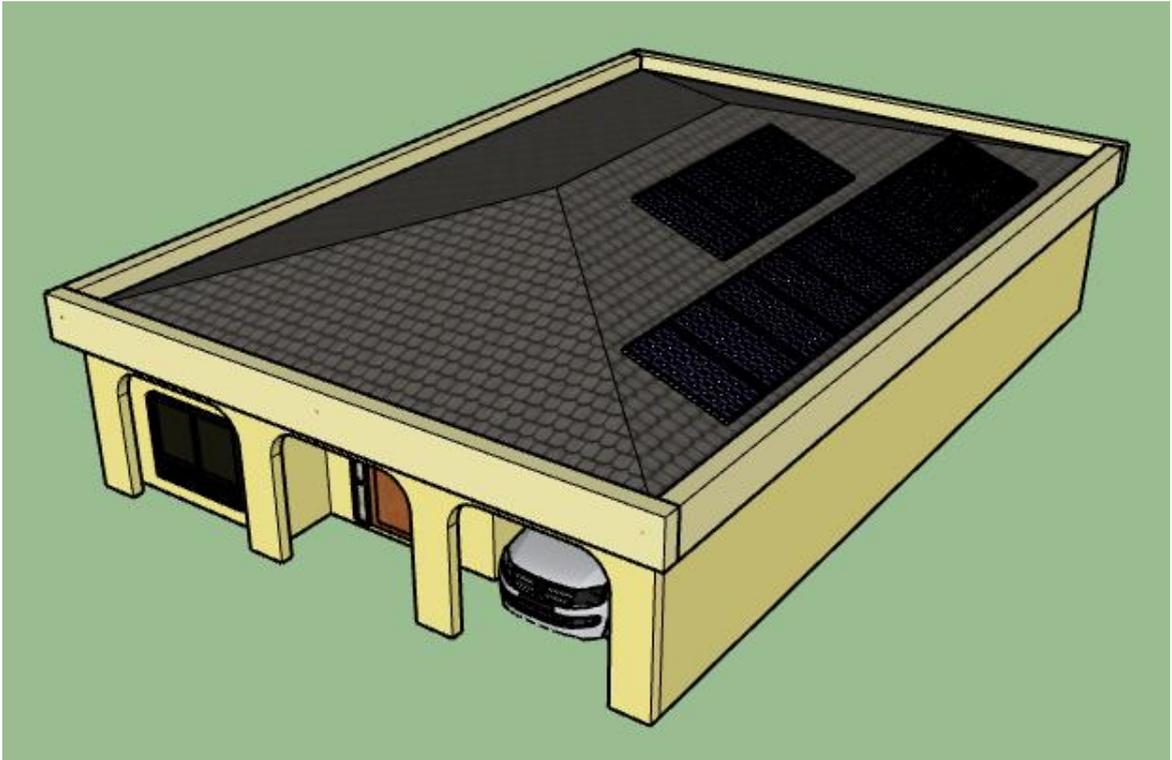
Fonte: a autora (2019).

Figura 10 – Representação do sistema de Turvo 2.



Fonte: a autora (2019).

Figura 11 – Representação do sistema de Criciúma.



Fonte: a autora (2019).

Figura 12 – Representação do sistema de Meleiro.



Fonte: a autora (2019).

A área necessária para os sistemas fotovoltaicos redimensionados foi estimada considerando-se as mesmas dimensões dos módulos utilizados no sistema original. E a área necessária para os sistemas de aquecimento solar de água foi determinada com base nos coletores solares disponíveis no mercado (1 m², 1,5 m² e 2 m²), em arranjos que mais se aproximassem à área calculada através da norma (para sistemas híbridos) e através do software SAM (para sistemas sem fonte auxiliar), de forma a garantir no mínimo 90% da área calculada.

3.4. Análise Econômica

A análise econômica foi baseada no custo de instalação dos sistemas. Uma comparação entre o valor do investimento dos sistemas fotovoltaicos já instalados e o custo da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água, determinou a viabilidade econômica da proposta.

Segundo o estudo do Instituto Ideal em parceria com a AHK-RIO (O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica, 6^a edição), o preço de sistemas fotovoltaicos com potência até 5 kWp, em 2018, na região sul, era de R\$5,95 por Wp instalado. Com base neste estudo, foi calculado o investimento dos sistemas já instalados e dos sistemas redimensionados (reduzidos).

O custo de instalação do SAS foi baseado em uma pesquisa de mercado de coletores e reservatórios térmicos da marca Heliotek (Bosch Group), devido à sua certificação pela ABRASOL (Associação Brasileira de Energia Solar Térmica). Foram considerados coletores comerciais de 1 m², 1,5 m² e 2 m² onde os valores médios encontrados foram R\$584,50, R\$824,50 e R\$999,50, respectivamente e a escolha do tamanho do coletor utilizado foi feita buscando maior aproximação à área de projeto. Os valores encontrados para o reservatório térmico de 200 e 300 litros foram R\$1499 e R\$1619, respectivamente. Ainda foi considerado um valor adicional correspondente a 30% do valor dos equipamentos, referente aos custos com projeto, instalação e eventuais acessórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos a seguir serão apresentados e comentados os resultados obtidos no redimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar de água, análise técnica e econômica.

4.1. Sistemas Fotovoltaicos

A partir da exclusão total do consumo do chuveiro elétrico (considerando o caso dos sistemas de aquecimento solar sem fonte auxiliar), os sistemas fotovoltaicos obtiveram uma redução na demanda de energia elétrica de 44%, 24%, 23% e 28% respectivamente para os sistemas fotovoltaicos Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro. A energia demandada por cada sistema após essa redução está representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Demanda de energia sem o consumo do chuveiro elétrico (kWh).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Janeiro	263,79	199,25	923,34	851,57
Fevereiro	237,31	222,00	750,61	822,94
Março	228,93	225,88	702,04	657,31
Abril	112,52	168,75	421,10	400,27
Maio	64,97	174,88	327,03	578,48
Junho	35,22	155,00	319,87	309,26
Julho	19,98	198,50	296,26	213,76
Agosto	30,01	151,50	284,11	182,00
Setembro	72,84	189,75	427,45	275,50
Outubro	46,48	170,88	334,30	214,84
Novembro	77,14	144,75	405,03	322,78
Dezembro	108,09	154,25	432,94	465,76
Total	1297,26	2155,38	5624,08	5294,46

Fonte: a autora (2019).

A partir da demanda de energia reduzida foram calculadas as novas potências dos sistemas fotovoltaicos. Os resultados obtidos para tal redimensionamento, após a adequação no software SAM, estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Características dos sistemas fotovoltaicos redimensionados sem o consumo do chuveiro elétrico.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Pot. Instalada (Wp)	1000	1560	2920	3120
Nº de Módulos	4	6	11	12

Fonte: a autora (2019).

A partir da exclusão de 70% do consumo do chuveiro elétrico (considerando o caso dos sistemas de aquecimento solar híbridos solar/elétrico), os sistemas fotovoltaicos obtiveram uma redução na demanda de energia elétrica de 31%, 17%, 16% e 20% respectivamente para os sistemas fotovoltaicos Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro. A energia demandada por cada sistema após essa redução está representada na Tabela 8.

Tabela 8 – Demanda de energia sem 70% do consumo do chuveiro elétrico (kWh).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Janeiro	281,22	210,88	951,82	886,45
Fevereiro	253,06	232,50	776,34	854,44
Março	255,09	243,31	744,77	709,62
Abril	137,83	185,63	462,44	450,90
Mai	91,13	192,31	369,76	630,79
Junho	68,97	177,50	375,00	376,76
Julho	54,86	221,75	353,22	283,51
Agosto	64,89	174,75	341,07	251,75
Setembro	98,15	206,63	468,79	326,13
Outubro	72,64	188,31	377,03	267,15
Novembro	102,45	161,63	446,37	373,41
Dezembro	125,52	165,88	461,42	500,64
Total	1605,79	2361,06	6128,01	5911,52

Fonte: a autora (2019).

A partir da desta demanda de energia foram recalculadas as novas potências dos sistemas fotovoltaicos. Os resultados obtidos para o redimensionamento neste caso estão representados na Tabela 9. Deve-se ressaltar que o sistema Turvo 1 apresentou potências teóricas menores que 1 kWp, tanto na redução do consumo

total, como na redução de 70% do consumo do chuveiro elétrico e para fins de viabilidade técnica e econômica foi considerada uma potência mínima de 1 kWp.

Tabela 9 – Características dos sistemas fotovoltaicos redimensionados sem 70% do consumo do chuveiro elétrico.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Pot. Instalada (Wp)	1000	1820	3180	3640
Nº de Módulos	4	7	12	14

Fonte: a autora (2019).

4.2. Sistemas de Aquecimento Solar de Água

Foram encontrados diferentes resultados para coletores solares classe A e classe E. Os valores de área coletora encontrados com base na norma ABNT NBR 15569, utilizando-se coletores classe A, foram 2,41 m², 1,62 m², 3,07 m² e 4,04 m² para os sistemas de aquecimento solar de água Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro, respectivamente. Já com os coletores classe E, os valores encontrados foram 2,90 m², 1,95 m², 3,69 m² e 4,85 m², respectivamente, para os mesmos sistemas. Os valores obtidos para todas as equações do dimensionamento via NBR 15569 estão representados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Valores obtidos com via norma ABNT 15569 – Coletores classe A.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
V _{consumo} (m ³)	0,15	0,10	0,25	0,30
V _{armaz} (m ³)	0,08	0,05	0,13	0,16
E _{útil} (kWh/dia)	4,01	2,67	6,55	8,02
E _{perdas} (kWh/dia)	0,60	0,40	0,98	1,20
FC _{instal}	1,17	1,20	1,04	1,08
PMDEE (kWh/m ²)	3,21	3,21	3,21	3,21
A _{coletora} (m ²)	2,41	1,62	3,07	4,04

Fonte: a autora (2019).

Tabela 11 – Valores obtidos com via norma ABNT 15569 – Coletores classe E.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
V_{consumo} (m ³)	0,15	0,10	0,25	0,30
V_{armaz} (m ³)	0,08	0,05	0,13	0,16
$E_{\text{útil}}$ (kWh/dia)	4,01	2,67	6,55	8,02
E_{perdas} (kWh/dia)	0,60	0,40	0,98	1,20
FC_{instal}	1,17	1,20	1,04	1,08
PMDEE (kWh/m ²)	2,67	2,67	2,67	2,67
A_{coletora} (m ²)	2,90	1,95	3,69	4,85

Fonte: a autora (2019).

Percebe-se que os parâmetros que variam para coletores classe A e E são a produção média diária (PMDEE), pois é dependente dos coeficientes de ganho e perda do coletor e, conseqüentemente, a área coletora, pois é função da PMDEE. Fica evidente que coletores menos eficientes, ou seja, com maiores coeficientes de perda, é necessária uma área coletora maior para a geração da energia requerida.

Para o dimensionamento integral do consumo de água quente, através do software SAM, foram encontrados os valores de área coletora listados na Tabela 12. Há um aumento considerável dos valores em relação à metodologia empregada na NBR 15569, devido à maior fração solar aplicada ao dimensionamento, visto que o aumento da fração solar implica na diminuição do desempenho térmico do SAS e, conseqüentemente, na diminuição da eficiência global do sistema. Ainda é possível perceber que ao utilizar coletores classe E, ou seja, menos eficientes, a demanda de área coletora é superior à área necessária com coletores classe A, assim como no dimensionamento via norma.

Tabela 12 – Área coletora necessária (m²) – Software SAM.

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Coletor Classe A	10,24	7,68	12,80	12,80
Coletor Classe E	24,78	14,16	35,40	31,86

Fonte: a autora (2019).

4.3. Análise Técnica

As áreas obtidas para os sistemas fotovoltaicos redimensionados estão representadas na Tabela 13. Os resultados estão considerando sistemas fotovoltaicos complementares a sistemas de aquecimento solar de água sem fonte auxiliar e com fonte auxiliar elétrica.

Tabela 13 – Área dos sistemas fotovoltaicos redimensionados (m²).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS sem fonte auxiliar	6,80	10,20	18,70	20,40
SAS com fonte auxiliar	6,80	11,90	20,40	23,80

Fonte: a autora (2019).

As áreas dos sistemas de aquecimento solar de água obtidas por meio de arranjos com coletores de dimensões comerciais estão representadas na Tabela 14. A tabela seguinte, descreve os arranjos utilizados. Os resultados estão expressos em função de sistemas sem fonte auxiliar e com fonte auxiliar (sistemas híbridos).

Tabela 14 – Área dos sistemas de aquecimento solar de água (m²).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS sem fonte auxiliar				
Classe A	10,00	8,00	13,00	13,00
Classe E	24,00	14,00	36,00	32,00
SAS com fonte auxiliar				
Classe A	3,00	1,50	3,00	4,00
Classe E	3,00	2,00	4,00	5,00

Fonte: a autora (2019).

Tabela 15 – Arranjos dos sistemas de aquecimento solar de água, expresso pelo número de coletores x área individual do coletor (m²).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS sem fonte auxiliar				
Classe A	5x2	8x1	13x1	13x1
Classe E	12x2	7x2	18x2	16x2
SAS com fonte auxiliar				
Classe A	2x1,5	1x1,5	2x1,5	2x2
Classe E	2x1,5	1x2	2x2	5x1

Fonte: a autora (2019).

Ao final, com a combinação da área necessária pelos sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar, obteve-se a área total demandada pela complementaridade entre os sistemas. A Tabela 16 apresenta a área total encontrada.

Tabela 16 – Área total necessária (m²).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS Sem fonte auxiliar + Sistema FV				
Classe A	16,80	18,20	31,70	33,40
Classe E	30,80	24,20	54,70	52,40
SAS Com fonte auxiliar + Sistema FV				
Classe A	9,80	13,40	23,40	27,80
Classe E	9,80	13,90	24,40	28,80

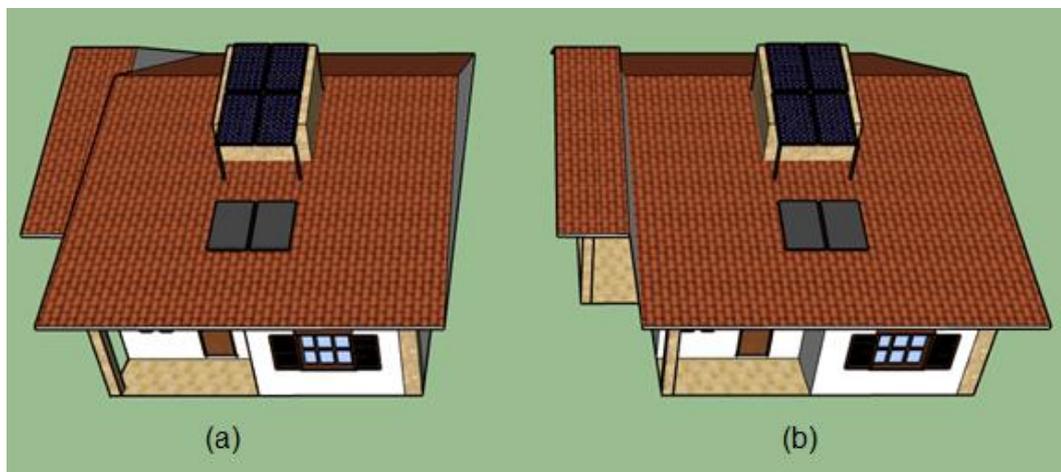
Fonte: a autora (2019).

Ao comparar os resultados da Tabela 16 com a área disponível do telhado de cada sistema, nota-se que há área suficiente na maioria dos casos, exceto para os sistemas de Criciúma e Meleiro, utilizando-se SAS sem fonte auxiliar e coletores classe E. Ambos os sistemas apresentaram valores de área necessária 5% superior à área disponível. O sistema Turvo 2, apesar de apresentar área suficiente para os sistemas complementares, não possui uma geometria adequada para a instalação do

sistema fotovoltaico redimensionado e o SAS de água sem fonte auxiliar, utilizando coletores classe E. A mesma limitação ocorre no sistema de Meleiro, com coletores classe A.

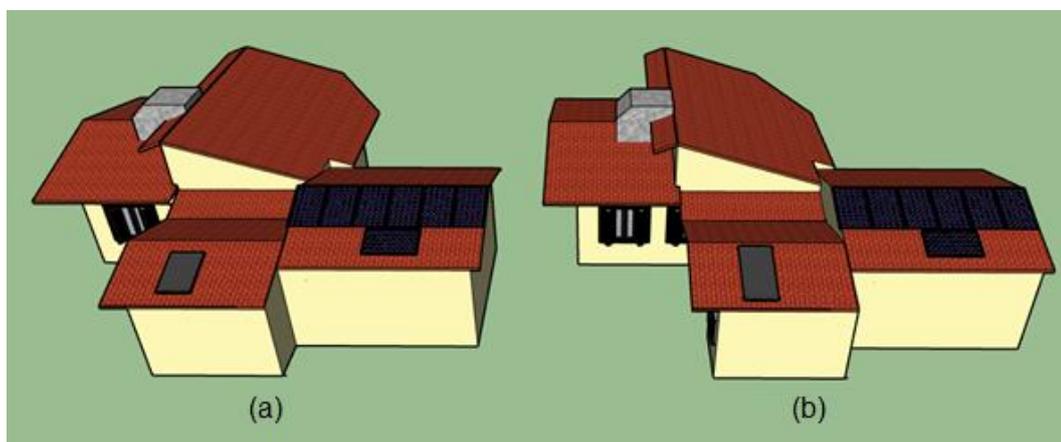
Os sistemas com fonte auxiliar possuem as menores demandas por área e estão representados nas Figuras 13, 14, 15 e 16. Os sistemas sem fonte auxiliar, que possuem área suficiente e geometria adequada, estão representados nas Figuras 17,18 e 19.

Figura 13 – Representação do sistema complementar Turvo 1 – Com fonte auxiliar considerando (a) coletor classe A e (b) coletor classe E.



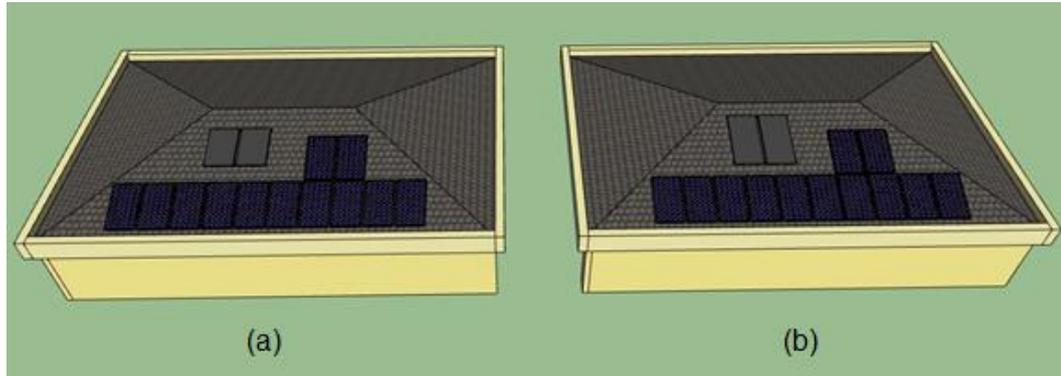
Fonte: a autora (2019).

Figura 14 – Representação do sistema complementar Turvo 2 – Com fonte auxiliar considerando (a) coletor classe A e (b) coletor classe E.



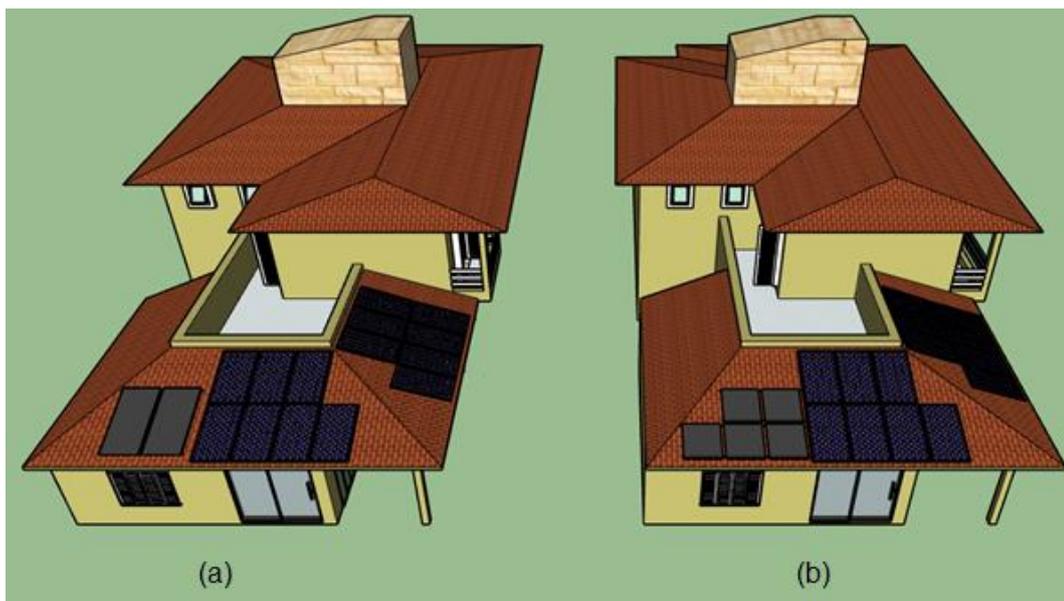
Fonte: a autora (2019).

Figura 15 – Representação do sistema complementar Criciúma – Com fonte auxiliar considerando (a) coletor classe A e (b) coletor classe E.



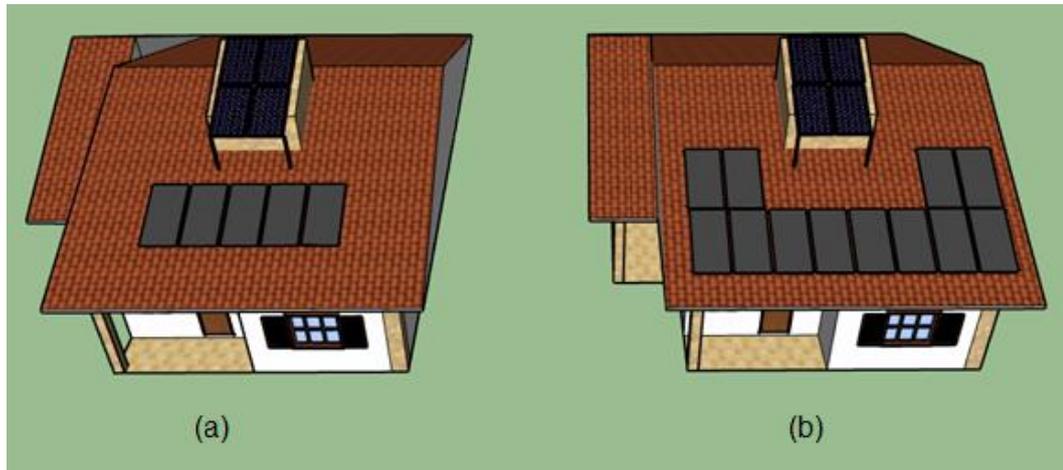
Fonte: a autora (2019).

Figura 16 – Representação do sistema complementar Meleiro – Com fonte auxiliar considerando (a) coletor classe A e (b) coletor classe E.



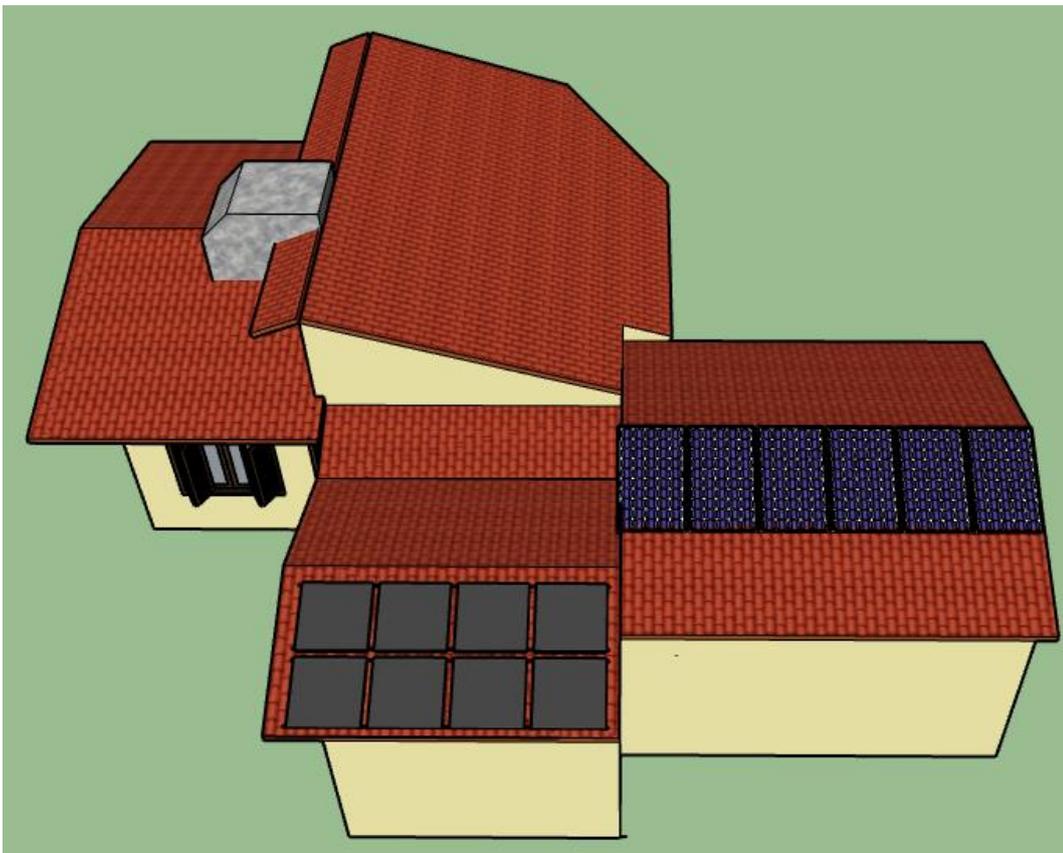
Fonte: a autora (2019).

Figura 17 – Representação do sistema complementar Turvo 1 – Sem fonte auxiliar considerando (a) coletor classe A e (b) coletor classe E.



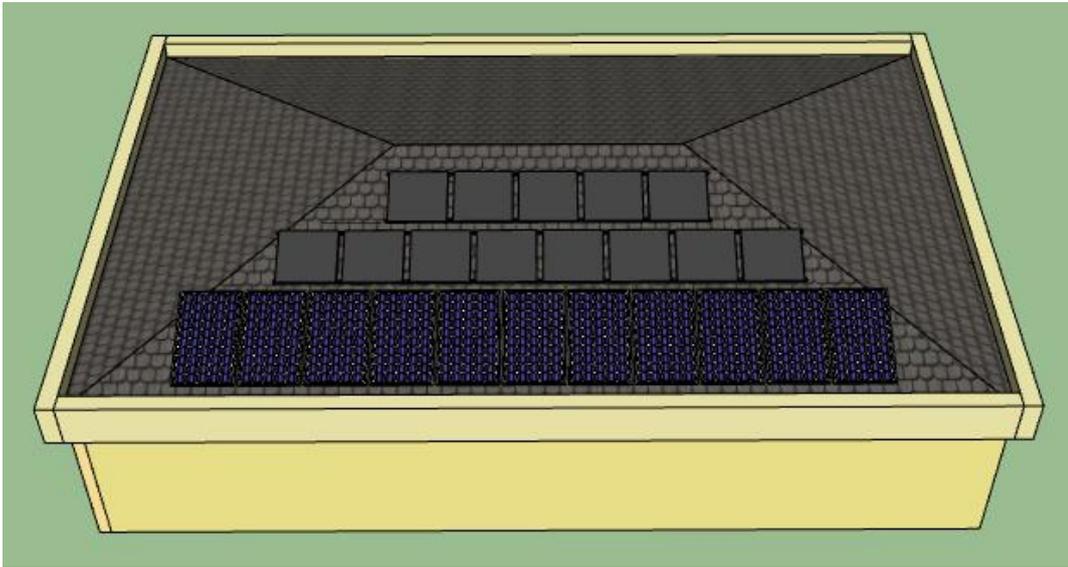
Fonte: a autora (2019).

Figura 18 – Representação do sistema complementar Turvo 2 – Sem fonte auxiliar considerando coletor classe A.



Fonte: a autora (2019).

Figura 19 – Representação do sistema complementar Criciúma – Sem fonte auxiliar considerando coletor classe A.



Fonte: a autora (2019).

Cada um dos quatro sistemas foi analisado em função de quatro hipóteses: sistemas sem fonte auxiliar com coletor classe A, sem fonte auxiliar com coletor classe E, com fonte auxiliar com coletor classe A e com fonte auxiliar com coletor classe E. Destes dezesseis casos analisados, quatro apresentaram alguma limitação técnica, seja por área insuficiente ou geometria do telhado inadequada para a instalação dos sistemas complementares.

4.4. Análise Econômica

Considerando a potência dos sistemas fotovoltaicos, estimou-se o valor do investimento para os sistemas originais e para os sistemas redimensionados. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 17. É possível perceber uma redução do custo de instalação dos sistemas fotovoltaicos redimensionados, em relação aos sistemas originais, de 25% para os sistemas Turvo 2 e Meleiro, com o uso de SAS sem fonte auxiliar e 12,5% com o uso de SAS com fonte auxiliar, representando os maiores e os menores percentuais de redução da amostra.

Tabela 17 – Custo dos sistemas fotovoltaicos (R\$).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
Originalis				
	7437,50	12376,00	22074,50	24752,00
Redimensionados				
SAS sem fonte auxiliar	5950,00	9282,00	17374,00	18564,00
SAS com fonte auxiliar	5950,00	10829,00	18921,00	21658,00

Fonte: a autora (2019).

O custo de instalação dos SAS de água está representado na Tabela 18. Os resultados indicaram que há um aumento médio de 88% com a utilização de coletores classe E, em relação à utilização de coletores classe A, para SAS sem fonte auxiliar. Para SAS com fonte auxiliar este valor é bem menos expressivo, cerca de 11% em média.

Tabela 18 – Custo dos sistemas de aquecimento solar de água (R\$).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS sem fonte auxiliar				
Classe A	8445,45	8027,50	11826,75	11982,75
Classe E	17540,90	11044,15	25337,00	22894,30
SAS com fonte auxiliar				
Classe A	4092,40	3020,55	4092,40	4703,40
Classe E	4092,40	3248,05	4547,40	5903,95

Fonte: a autora (2019).

A proposta de complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água foi analisada economicamente observando-se o custo com a instalação dos sistemas fotovoltaicos redimensionados, adicionado o custo de instalação dos SAS de água. A Tabela 19 apresenta o custo total de instalação dos sistemas complementares, em função de coletores classe A e classe E.

Tabela 19 – Custo total dos sistemas complementares (R\$).

	Turvo 1	Turvo 2	Criciúma	Meleiro
SAS sem fonte auxiliar + Sistema FV				
Classe A	14395,45	17309,50	29200,75	30546,75
Classe E	23490,90	20326,15	42711,00	41458,30
SAS com fonte auxiliar + Sistema FV				
Classe A	10042,40	13849,55	23013,40	26361,40
Classe E	10042,40	14077,05	23468,40	27561,95

Fonte: a autora (2019).

Por fim, ao comparar o custo dos sistemas fotovoltaicos originais com o custo da proposta formada pelos sistemas fotovoltaicos redimensionados e os sistemas de aquecimento solar de água, obteve-se um aumento do valor de investimento, com base na Tabela 19, de 94%, 40%, 32% e 23% para as unidades Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro, respectivamente, considerando coletores classe A e SAS sem fonte auxiliar de energia. Para coletores classe E, estes valores de investimento aumentam para 216%, 64%, 93% e 67%.

A proposta de complementaridade com sistemas híbridos de aquecimento apresentou as menores variações do valor de investimento em relação aos sistemas fotovoltaicos originais. Para coletores classe A, o aumento do valor de investimento foi de 35%, 12%, 4% e 7%, para os sistemas de Turvo 1, Turvo 2, Criciúma e Meleiro, respectivamente. Já com coletores classe E, estes valores foram de 35%, 14%, 6% e 11%, respectivamente para os mesmos sistemas.

Em resumo, os resultados da pesquisa mostraram que em alguns casos há viabilidade técnica. Porém, em todas as situações e configurações, o sistema complementar se mostrou menos atrativo economicamente em comparação ao sistema fotovoltaico original.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a análise da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água, em termos técnicos e

econômicos. Enquanto a análise técnica apresentou resultados de viabilidade variável entre as hipóteses analisadas, todos os resultados obtidos na análise econômica indicaram menor atratividade da proposta.

A análise técnica da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água em unidades prosumidoras do sul de Santa Catarina, mostrou que há viabilidade de instalação, quando utilizados sistemas de aquecimento solar de água com fonte auxiliar (sistemas híbridos). As quatro unidades analisadas apresentaram área suficiente para a implementação dos sistemas complementares, seja utilizando-se coletores classe A, ou coletores classe E. Já nos casos em que os sistemas de aquecimento solar de água não possuíam fonte auxiliar, surgiram limitações técnicas em alguns sistemas, como área disponível insuficiente ou geometria do telhado incompatível com a instalação do arranjo dos sistemas complementares. O sistema de Meleiro obteve o resultado mais desfavorável dentre as amostras, apresentando as duas limitações, o que impossibilitou a implementação da complementaridade entre o sistema fotovoltaico e o sistema de aquecimento solar sem fonte auxiliar.

Ao realizar a análise econômica da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água é percebido que há um aumento dos custos com a aplicação simultânea dos sistemas, tanto para a hipótese de sistemas de aquecimento solar sem fonte auxiliar, como para sistemas híbridos. O maior aumento registrado foi de 216% para sistemas de aquecimento sem fonte auxiliar e com o uso de coletores classe E, no sistema Turvo 1, o que indica que há um maior impacto nos sistemas com menor potência e maior participação do chuveiro elétrico no consumo total de energia elétrica. Ainda se destaca a influência da classificação dos coletores no custo final do projeto, visto que coletores menos eficientes demandam de áreas maiores para gerar a energia prevista e, conseqüentemente, de um investimento maior.

Ainda que em alguns casos seja tecnicamente viável, o uso complementar de sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água esbarra na questão econômica. Portanto, para o suprimento de energia elétrica e água quente de uma mesma unidade consumidora, o uso de apenas sistemas fotovoltaicos se mostrou mais oportuno e atrativo.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica: Benefícios Líquidos ao Brasil**. Brasília, 2018.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Conheça as vantagens de utilizar a energia solar para aquecer água**. Disponível em: <<https://abrava.com.br/conheca-as-vantagens-de-utilizar-a-energia-solar-para-aquecer-agua/>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

ABREU, Samuel Luna de; GOLÇALVES, Carlos Eduardo; FILHO, Sergio Parizotto. Sistema de aquecimento solar de água. In: LABEEE. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. Florianópolis: Roberto Lamberts, Eneir Ghisi, Cláudia Donald Pereira, Juliana Oliveira Batista, 2010. Cap. 3. p. 31-47.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída: Micro e Minigeração Distribuídas**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília: Cadernos Temáticos Aneel, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro De 2015**: Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília: Diário Oficial da União, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resumo por Classe de Consumo**. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Classe.asp>. Acesso em: 31 jul. 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resumo por Tipo de Geração**. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em: 31 jul. 2019.

ALTOÉ, Leandra; OLIVEIRA FILHO, Delly; CARLO, Joyce Correna. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.75-87, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212012000300006>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação.** Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 36 p.

BATISTI, Fabrício; MARANGONI, Filipe; ZEFERINO, Cristiane Lionço. **Análise da viabilidade para instalação de um sistema de aquecimento solar de água para banho em um hotel na cidade de Medianeira - PR.** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado.

BEN - Balanço Energético Nacional 2019. **Relatório Síntese / Ano Base 2018.** Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2019.

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento. **A energia solar no Brasil.** 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/energia-solar>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** 2014.

FEDRIGO, Natália Sens; GONÇALVES, Guilherme; LUCAS, Paulo Figueiredo. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. Operação e Manutenção. In: SOLAR, Gtes - Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: João Tavares Pinho, Marco Antônio Galdino, 2014.

INSTITUTO IDEAL, AHK-RIO. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica.** 6. ed. Florianópolis: Natália Chaves, Ricardo Rüter, 2019.

KREZINGER, Arno et al. **Radiação Solar e Conversão Térmica da Energia Solar.** Porto Alegre: Grupo de Energia Solar - Ufrgs, 2010.

LABEEE. Resumo Executivo. In: LABEEE. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia.** Florianópolis: Roberto Lamberts, EneDir Ghisi, Cláudia Donald Pereira, Juliana Oliveira Batista, 2010. p. 15.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing Information For Solar and Wind Energy Technology Deployment in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 7, p. 4378-4390, 2011.

MARTINS, Jeovane Bet. **Estratégias e mecanismos econômicos para inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica brasileira.** 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018.

MELLO, Arthur Durigon. **Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede a Partir da Determinação de Índices de Mérito.** 2016. 46 f.

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

NASPOLINI, Helena F.; RÜTHER, Ricardo. The effect of measurement time resolution on the peak time power demand reduction potential of domestic solar hot water systems. **Renewable Energy**. Florianópolis, p. 325-332. abr. 2016.

PROCEL/ELETOBRÁS. **Pesquisa de Posse de Materiais e Hábitos de Uso - Ano Base 2005, Classe Residencial - Relatório Brasil, Editora da Eletrobrás (2007).**

ROVERSI, Karoline; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Análise da Variabilidade Espacial da Radiação Solar no Sul de Santa Catarina**. In: 7º SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE, 2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis: Ufsc, 2004.

SILVA, João Lucas de Souza et al. **Análise do Avanço da Geração Distribuída no Brasil**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado.

SOUSA, Lays Camila de et al. **Avaliação de um sistema de energia solar térmica para a substituição de chuveiro elétrico numa residência no município de Itajubá, Minas Gerais, Brasil**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado.

VIANA, Trajano de Souza; MONTENEGRO, Alexandre Albuquerque; RÜTHER, Ricardo. Sistema de geração de energia solar fotovoltaica. In: LABEEE. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. Florianópolis: Roberto Lamberts, EneDir Ghisi, Cláudia Donald Pereira, Juliana Oliveira Batista, 2010. Cap. 4. p. 49-61.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial ao meu pai, Paulo, minha vó, Valdete e minha mãe, Edinéia, por todo o apoio. À minha vó, Clori (*in memoriam*), que nunca deixou de acreditar em mim. Ao meu namorado, Gilvani, por todo o carinho e compreensão. Ao meu orientador Giuliano Rampinelli, por toda a paciência e à professora Letícia Scarabellot, pela atenção. Aos meus amigos, que sempre torceram por mim e a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui.