

DAISY REGINA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA COMPARATIVA DE SISTEMAS
DE AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO DIFERENTES FONTES
ENERGÉTICAS (ELÉTRICA, SOLAR e GLP)

CASCVEL

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2019

DAISY REGINA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA COMPARATIVA DE SISTEMAS
DE AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO DIFERENTES FONTES
ENERGÉTICAS (ELÉTRICA, SOLAR e GLP)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Coorientadores: Jair Antônio Cruz Siqueira e Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Santos, Daisy Regina dos

Avaliação técnico-econômica comparativa de sistemas de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas (elétrica, solar e GLP) / Daisy Regina dos Santos; orientador(a), Carlos Eduardo Camargo Nogueira; coorientador(a), Jair Antônio Cruz Siqueira, coorientador(a)II, Samuel Nelson Melegari de Souza, 2019. 75 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, , Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

1. Energia renovável. 2. Aquecedor de água elétrico e solar. 3. Aquecedor de passagem. I. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo . II. Siqueira, Jair Antônio Cruz . III. Souza, Samuel Nelson Melegari de. IV. Título.

DAISY REGINA DOS SANTOS

Avaliação técnico-econômica comparativa de sistemas de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas (elétrica, solar e GLP)

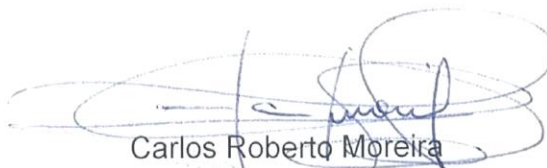
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira
Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 12 de março de 2019

“Dedico a Deus por me capacitar, aos meus pais pelo encorajamento e incentivo e ao meu orientador pela paciência e excelente orientação”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre se fazer presente, me auxiliando e capacitando nesse momento.

Aos meus pais e irmãs, por todo apoio e paciência.

Ao meu orientador por todos os ensinamentos, oportunidades e orientação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Irradiação solar global anual	4
Figura 2: Esquema de Coletor Plano	5
Figura 3: Coletor de tubo a vácuo Fonte: Sabiha et al., 2015	7
Figura 4: Reservatório térmico em corte	8
Figura 5: Sistema de aquecimento solar de água	9
Figura 6: Sistema fotovoltaico/ térmico ativo	10
Figura 7: A geração de células solares e seus materiais, eficiência celular e sua área de aplicação.	12
Figura 8: Sistema Fotovoltaico	13
Figura 9: Diagrama esquemático do sistema solar fotovoltaico/térmico.....	14
Figura 10: Funcionamento do aquecedor de passagem Fonte: Sindigás,2017	16
Figura 11: Modelo de aquecedor de acumulação. Fonte: Brasiltec, 2011.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Radiação solar diária média na cidade de Cascavel - PR.....	22
Tabela 2: Temperatura média mensal.....	23
Tabela 3: Dados sobre cenário 01 - utilização de energia elétrica.....	31
Tabela 4: Dados sobre cenário 04 – Consumo médio de GLP, para aquecimento de água para cinco pessoas	33
Tabela 5: Avaliação do aquecedor solar	34
Tabela 6: Dados sobre cenário 05 - energia elétrica como fonte auxiliar.....	35
Tabela 7: Dados sobre cenário 07 - aquecedor a gás como fonte auxiliar.....	36
Tabela 8: Cenário 2 - aquecedor solar	37
Tabela 9: Cenário 03 - placas fotovoltaicas	38
Tabela 10: Cenário 04 - aquecedor a gás (GLP).....	39
Tabela 11: Cenário 05 - aquecedor solar + aquecedor elétrico.....	40
Tabela 12: Cenário 6 - aquecedor solar + placas fotovoltaicas.....	41
Tabela 13: Cenário 07 - aquecedor solar + aquecedor a gás (GLP).....	42
Tabela 14 : Cálculo do Payback, VPL, TIR e VAUE para os cenários 02 a 07.	43

RESUMO

SANTOS, Daisy Regina dos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto de 2018. **Avaliação técnico-econômica comparativa de sistemas de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas (elétrica, solar e GLP).** Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Coorientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira. Coorientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

Este trabalho realizou uma avaliação técnico-econômica comparativa para sistemas de aquecimento de água na cidade de Cascavel - PR. Foram dimensionados diferentes sistemas: energia elétrica proveniente da concessionária (chuveiro eletrônico), energia solar térmica (coletor solar), energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de um chuveiro eletrônico) e aquecedor a gás. Determinou-se cenários, considerando cada sistema de forma exclusiva, e outros tendo a energia solar térmica como base e os demais sistemas como auxiliares. Mensurou-se o custo de aquisição, instalação, manutenção e consumo de energia auxiliar, os quais possibilitaram os cálculos dos custos de cada cenário anualizados. Esses cálculos evidenciaram que, embora o aquecedor solar seja financeiramente rentável, na região do país em que foi realizado o estudo não supre a demanda energética suficiente para o ano inteiro, havendo a necessidade de uma fonte de energia auxiliar. O melhor cenário para tal situação foi o aquecedor solar com fonte auxiliar energia elétrica. Os dois sistemas em conjunto apresentaram maior viabilidade técnico-econômica.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001"

Palavras-chave: Energia renovável; aquecedor de água elétrico e solar; aquecedor de passagem.

ABSTRACT

SANTOS, Daisy Regina dos, State University of Western Paraná. August 2018. **Comparative technical-economical evaluation of water heating systems using different energy sources (electric, solar and GLP)**. Advisor: Teacher Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Coorientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira. Coorientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

This work carried out a comparative technical - economical evaluation for water heating systems in the city of Cascavel - PR. Different systems were designed: electric power from the utility (electronic shower), solar thermal (solar collector), solar photovoltaic (photovoltaic panels to power the electric resistance of an electronic shower) and gas heater. It was determined scenarios, considering each system exclusively and others having solar thermal energy as base and other systems as auxiliary. The cost of acquisition, installation, maintenance and auxiliary energy consumption were measured, which enabled the calculations of the costs of each annualized scenario. These calculations showed that although the solar heater is financially profitable, in the region of the country where the study was conducted, it does not supply enough energy demand for the entire year, and there is a need for an auxiliary energy source. The best scenario for this situation was the solar heater with auxiliary power supply. The two systems together proved the best technical-economic feasibility.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

Key words: Renewable energy; electric and solar water heater, tankless water heater.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Energia solar	3
2.2 Aquecedor solar	4
2.2.1 Coletores Solares	4
2.2.2 Reservatório Térmico.....	8
2.2.3 Funcionamento de um sistema de aquecedor solar de água.....	8
2.3 Energia fotovoltaica	10
2.3.1 Células fotovoltaicas.....	10
2.3.2 Sistema Fotovoltaico.....	12
2.4 Sistema de aquecimento solar híbrido	13
2.5 Aquecedor a gás	14
2.5.1 Gás Liquefeito de Petróleo - GLP.....	14
2.5.2 Modelos de Aquecedores de água a gás.....	15
2.5.2.1 Aquecedor de passagem	15
2.5.2.2 Aquecedor Por Acumulação	16
2.6 Viabilidade econômica	17
2.6.1 Valor presente líquido (VPL).....	18
2.6.2 PayBack descontado (PBD).....	19
2.6.3 Taxa interna de retorno (TIR).....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Dimensionamento do volume de água quente	21
3.2 Cenário 01: utilização somente de energia elétrica	21
3.2.1 Potência nominal do aquecedor elétrico.....	21
3.2.2 Consumo de energia elétrica para aquecedor elétrico	22
3.3 Cenário 02: utilização somente de energia solar térmica	22
3.3.1 Radiação solar disponível	22
3.3.2 Temperaturas ambientes médias mensais da cidade de Cascavel.	23
3.3.3 Volume do sistema de armazenamento (NBR 15569,2008).....	23
3.3.4 Área do coletor solar (NBR 15569,2008).....	24
3.4 Cenário 03: utilização somente de energia solar fotovoltaica	25

3.4.1	Potência dos painéis fotovoltaicos.....	25
3.4.2	Inversor de tensão.....	26
3.4.2.1	Instalação dos módulos fotovoltaicos	26
3.5	Cenário 04: utilização somente de GLP	27
3.5.1	Aquecedores de passagens utilizando.....	27
3.5.2	Vazão do GLP.....	28
3.6	Sistemas de aquecimento auxiliar e fontes auxiliares - cenários 05, 06 e 07	28
3.7	Avaliação econômica.....	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	Dimensionamento do volume de água quente	30
4.1	Cenário 01: utilização somente de energia elétrica	30
4.3	Cenário 02: utilização somente de energia solar térmica.....	31
4.4	Cenário 03: utilização somente de energia solar fotovoltaica	32
4.5	Cenário 04: utilização somente de GLP	32
4.6	Cenários 05, 06 e 07 - utilização de energia solar térmica como base, com fontes auxiliares.	33
4.6.1	Cenário 05: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de energia elétrica.	34
4.6.2	Cenário 06: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte de energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de aquecimento).....	35
4.6.3	Cenário 07: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de GLP (aquecedor a gás).	36
4.7	Avaliação Econômica – Fluxo de Caixa/ Payback/ VAUE e TIR	36
5.	CONCLUSÕES	44
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
	ANEXOS	53

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira utiliza, quase que em sua totalidade, o sistema hidrelétrico de geração de eletricidade. Este sistema tem sua performance impactada pelas estiagens, bem como pela dificuldade de expansão em razão do impacto ambiental que provocam. Somado a isso, existe o fato de que a população brasileira está aumentando de forma exponencial. Segundo o IBGE (2017), o Brasil já possui mais de 207 milhões de brasileiros, e a previsão é de que até 2050 serão aproximadamente 260 milhões de habitantes.

Neste contexto, surge a necessidade de estudos para utilização de outras fontes de geração de energia. As tecnologias eólica e solar, por exemplo, têm se mostrado viáveis para se alcançar a eficiência energética com sustentabilidade, uma vez que não foram identificados impactos negativos quanto à biodiversidade e ao meio ambiente. Entretanto, hoje a energia solar representa apenas 0,2% da capacidade instalada de geração no sistema elétrico brasileiro (MME, 2017).

O consumo de água quente para banho, em algumas regiões do país, é indispensável, uma vez que em algumas épocas do ano as médias mensais são inferiores a 15 °C. Segundo Tomé (2014), o uso do chuveiro elétrico representa, em média, 22% do consumo total de uma residência. Sendo assim, surge a oportunidade de fazer uma avaliação técnica e econômica de diferentes sistemas para aquecimento de água, visando determinar qual deles irá suprir as necessidades de consumo e apresentar menor custo total.

Os aquecedores possuem a função de aquecer a água para consumo. Com isso, os elétricos são os mais utilizados, uma vez que a instalação é fácil e o custo é baixo.

Todavia, existem outras opções para aquecimento. O aquecedor solar utiliza a irradiação solar para aquecer água e é utilizado no Brasil desde a década de 60. O país possui uns dos maiores valores de irradiação solar global, no entanto, isso não o isenta de dias nublados e de chuvas, necessitando de aquecedor auxiliar. A produção de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas para alimentação do chuveiro elétrico é uma outra opção de utilização da radiação solar. A tecnologia fotovoltaica se desenvolveu rapidamente nos últimos trinta anos e continua se desenvolvendo. Pesquisadores buscam por materiais mais eficientes e com custos

menores. As placas fotovoltaicas também podem trabalhar de maneira híbrida, ao mesmo tempo que produzem energia elétrica aquecem água.

Uma opção também viável são os aquecedores a gás, os quais possuem longa durabilidade. Além disso, os aquecedores de passagem a gás possuem facilidade de instalação em residências, não necessitando de muito espaço para alocação.

Como os aquecedores possuem aspectos distintos, é necessário identificar o perfil técnico e econômico de cada sistema, considerando a eficiência, viabilidade financeira (custos de aquisição, instalação, manutenção e consumo de energia auxiliar) e local de instalação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma avaliação técnico-econômica de sistemas de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas, considerando um consumo médio de água quente para uma residência com cinco pessoas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Dimensionar sistemas de aquecimento de água utilizando, isoladamente, as seguintes fontes energéticas: energia elétrica, energia solar térmica, energia solar fotovoltaica e GLP;
- Dimensionar sistemas de aquecimento de água utilizando as seguintes combinações de fontes energéticas: energia solar térmica e energia elétrica; energia solar térmica e energia solar fotovoltaica (sistemas solares híbridos); e energia solar térmica e GLP;
- Fazer uma avaliação técnico-econômica comparativa, de maneira a determinar qual sistema apresenta maior viabilidade de implantação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de aquecimento de água são equipamentos, dispositivos e acessórios com objetivo de converter a fonte de energia em calor e transferi-lo para a água a ser consumida (CHAGURI, 2009).

A demanda mundial de energia aumentou, e é natural, seguro e sem custos, coletar água quente por radiação solar (HOSSAIN et al., 2011). Os aquecedores solares e fotovoltaicos são exemplos de aquecedores que utilizam a radiação solar como matéria-prima.

Outra possibilidade para aquecimento de água em residências são os aquecedores a gás, os quais são populares em países europeus e na América do Norte, podendo ser uma opção financeira e tecnicamente viável.

2.1 Energia solar

Energia fundamental para a vida no planeta terra, a energia solar é extremamente abundante. O Sol fornece, anualmente, para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período (CRESESB, 2008).

Entre as fontes renováveis de energia, a energia solar é claramente uma opção promissora como é perene e disponível (SINIGAGLIA et al., 2016).

As tecnologias solares são um recurso renovável extremamente promissor, considerando suas eficiências de produção cada vez maiores e a capacidade de serem utilizadas em diversos locais (VIJAY et al., 2013).

A irradiação média anual brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, bem acima da média da Europa, mas há no mundo regiões com valores acima de 3.000 kWh/m²/ano (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

Na figura 1, é possível visualizar a média anual de irradiação solar nas diversas regiões do globo terrestre.

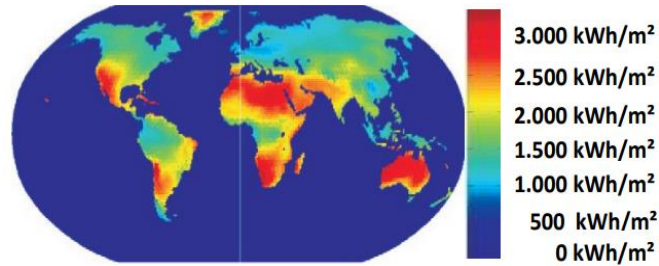


Figura 1: Irradiação solar global anual

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2017

A energia solar para geração de energia elétrica ainda é pouco utilizada no Brasil. Do total de energia elétrica gerada no país, a fonte solar representa apenas 0,2% (MME, 2017).

O Brasil já passou por crises energéticas as quais resultaram em “apagões”. Os motivos desses incidentes variam desde a falta de chuvas a falhas operacionais. Com o crescimento populacional e as dificuldades para instalação de Hidrelétricas, em razão dos impactos ambientais, surge a necessidade de novas maneiras de obtenção de energia elétrica e térmica. A energia solar, como fonte de energia renovável, tem recebido crescente atenção por conta de suas vantagens notáveis, como segurança, propriedades de poluição zero, alta eficiência e renovabilidade (ZHU et al., 2017).

2.2 Aquecedor solar

O sistema de aquecimento solar de água é uma das opções para substituir o aquecimento de água com energia da concessionária e, segundo a ANEEL (2017), é utilizada no Brasil desde a década de 60. Basicamente, consiste na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo (CRESESB, 2008).

Esse sistema possui coletores solares (principal componente deste sistema), reservatório térmico (Boiler) e caixa d’água.

2.2.1 Coletores Solares

Os coletores solares figuram como o principal componente de qualquer sistema de energia solar (MAZARRÓN et al., 2016). São dispositivos que convertem a radiação solar em energia térmica aquecendo um fluido de trabalho, que pode ser água, ar ou outro fluido térmico (ROSA, 2012). Caracterizam um tipo especial de trocador de calor que transforma a energia da radiação solar em energia do meio de transporte (KALOGIROU, 2004).

Os coletores de placas plana e tubos a vácuo são os coletores mais utilizados para aplicações de aquecimento de água em pequena escala (AYOMPE et al., 2011).

Coletores Solares de placas planas são utilizados para aquecimento de fluídos industriais, aquecimento do ar utilizado na secagem de produtos e aquecimento de água. Normalmente, apresentam um canal com um vidro ou plástico na parte superior e uma placa absorvente na parte inferior. A estrutura externa é isolada para minimizar a perda de energia, exceto na parte envidraçada (ANSARI; BAZARGAN, 2018).

No entanto, possuem baixa eficiência térmica e são utilizados para situações que solicitam temperaturas abaixo de 100°C.

De acordo com o estudo de Passos, Cardemil e Colle (2014), o coletor de placa plana se mostrou economicamente viável para utilização de banhos domésticos em todas as regiões do Brasil.

Na figura 2, segue o esquema dos componentes de um coletor plano.

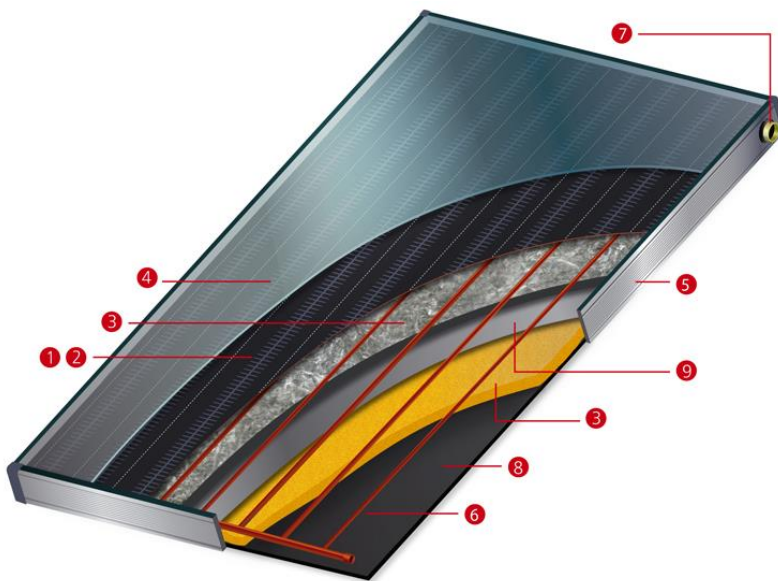


Figura 2: Esquema de Coletor Plano

Fonte: New Home, 2018

1. Placa de absorção
2. Revestimento
3. Isolamento
4. Vidro
5. Moldura
6. Tubulação
7. Conexão
8. Fundo
9. Chapa Intermediária

Os aquecedores de água de coletores solares de tubo a vácuo figuram como um dos tipos mais comuns de aquecedores solares de água e têm sido amplamente utilizados nos últimos anos (JOWZI; VEYSI; SADEGHI, 2018). Eles possuem um bom desempenho durante todo o ano, especialmente em condições de baixa radiação em razão do seu absorvedor tubular (SHARAFELDIN; GRÓF, 2018).

Um coletor de tubo a vácuo é mais avançado que o coletor solar de placa plana, pois gera uma alta temperatura de saída de fluido com pequena perda de calor (ZHU et al., 2017).

Ayompe et al. (2011) demonstram isso em seu trabalho quando compararam os coletores de placas plana e tubos a vácuo em condições semelhantes na cidade de Dublin, Irlanda, obtiveram uma média anual de eficiência de 46,1% e 60,7%, respectivamente.

A circularidade dos tubos a vácuo garante que as radiações solares sejam sempre tomadas verticalmente durante o dia, o que contribui para o rendimento do coletor solar (OZSOY; CORUMLU, 2018).

O coletor com tubos a vácuo consiste em tubos selados a vácuo de vidro, a superfície do absorvedor está localizada no interior do tubo de vidro e pode ter várias formas (ZAMBOLIN; COL, 2010). Na figura 3, é possível visualizar um modelo de coletor de tubo a vácuo.

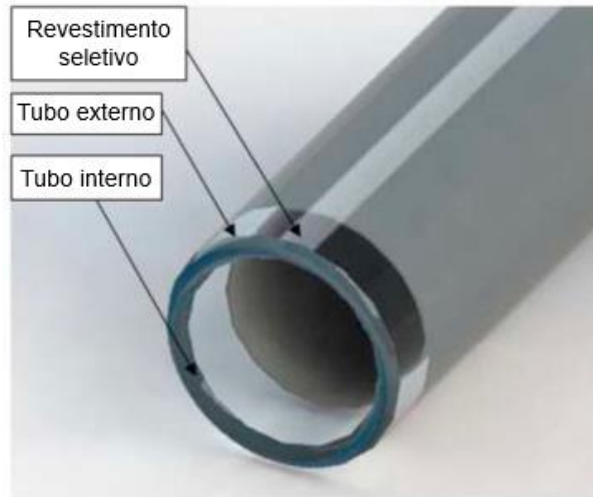


Figura 3: Coletor de tubo a vácuo
Fonte: Sabiha et al., 2015

Sabiha et al. (2015) explicam que o tubo interno possui um revestimento seletivo. Já o tubo externo é transparente, os raios solares passam por ele sendo absorvidos pelo tubo interno, por sua vez, sendo aquecido pela luz solar. Em razão do vácuo que é formado entre os tubos, ocorre uma melhoria do desempenho térmico destes coletores solares por conta das perdas de calor (ALFARO-AYALA et al., 2018).

Para criar o vácuo, os dois tubos são fundidos no topo e o ar existente é bombeado para fora (SABIHA et al., 2015).

Existem vários tipos de coletores de tubos a vácuo, entre os quais os que operam com tubos de calor, o todo em vidro (do tipo Dewar), o todo em vidro dotado de condutores coaxiais, os dotados de um tubo em forma de U e o coletor de vidro metálico (MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ; FUENTES-SILVA; PICÓN-NÓÑEZ, 2018).

O coletor a vácuo de vidro da Dawen é o tipo mais usado na China, considerando o seu baixo preço e excelentes características de baixa perda de calor. Estes são agora amplamente utilizados para aquecimento de água (GAO et al., 2014).

O tubo em forma de U consiste em tubo de vidro externo, tubo de vidro interno, aleta de cobre ou alumínio e tubo de cobre em forma de U (NAIK et al., 2016). A água fria entra por uma das extremidades do tubo, absorve calor e sai quente pela outra. Essas extremidades são conectadas em tubulações separadas, que estão envolvidas por um isolante térmico (CALZA, 2014). Tal tipo de coletor

necessariamente tem de ser utilizado em sistema ativo, ou seja, com circulação forçada por uma bomba hidráulica (MANEA, 2016).

Os coletores de metal em vidro foram desenvolvidos para sistemas de alta temperatura e alta pressão (LIANG et al., 2011).

2.2.2 Reservatório Térmico

Para aplicações de aquecimento de água, é necessário armazenar a energia acumulada durante o dia, ou durante vários dias, de forma a poder utilizar em momentos diversos (ROSA, 2012).

A utilização deste é indispensável em sistemas de aquecimentos domésticos, pois é ele que permite a utilização da água aquecida em qualquer horário do dia (MANEA, 2012).

Em relação ao posicionamento, os reservatórios térmicos podem ser horizontais ou verticais. Quanto à pressão de trabalho, podem ser de alta ou baixa pressão (COELHO, 2012).

A figura 4 demonstra as partes constituintes do reservatório térmico.

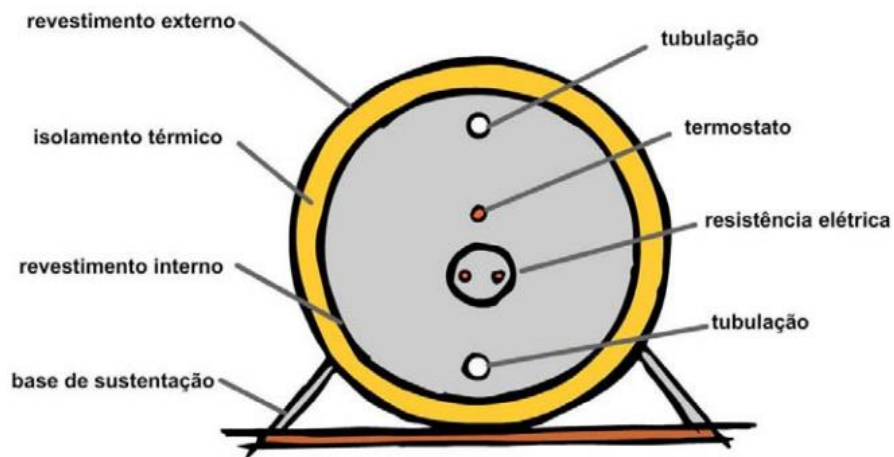


Figura 4: Reservatório térmico em corte

Fonte: Fórum Clima, 2018

2.2.3 Funcionamento de um sistema de aquecedor solar de água

Mostafaeipour et al. (2017) afirma que, em geral, existem dois tipos de sistema para aquecimento solar de água. O sistema ativo (sistema de fluxo forçado)

e o sistema passivo, o qual utiliza a convecção natural em razão das diferenças de densidade.

Termossifão e sistema integrado são exemplos de sistemas passivos. Na figura 04, é possível visualizar o sistema termossifão. De acordo Sellami et al. (2016), esse sistema é amplamente utilizado.

Termossifão ocorre quando a água no coletor se expande, tornando-se menos densa à medida que o calor é adicionado pela energia solar e sobe por meio do coletor para o topo do tanque de armazenamento (KALOGIROU, 2009). O tanque de armazenamento em um sistema de aquecimento solar de água "acoplado" é montado horizontalmente acima dos coletores solares no telhado (HOSSAIN et al., 2011).

A água de temperatura mais baixa no tanque se move para baixo até o tubo de entrada do coletor por conta de sua maior densidade (SAE-JUNG et al., 2015).

A figura 5 demonstra um sistema termossifão.

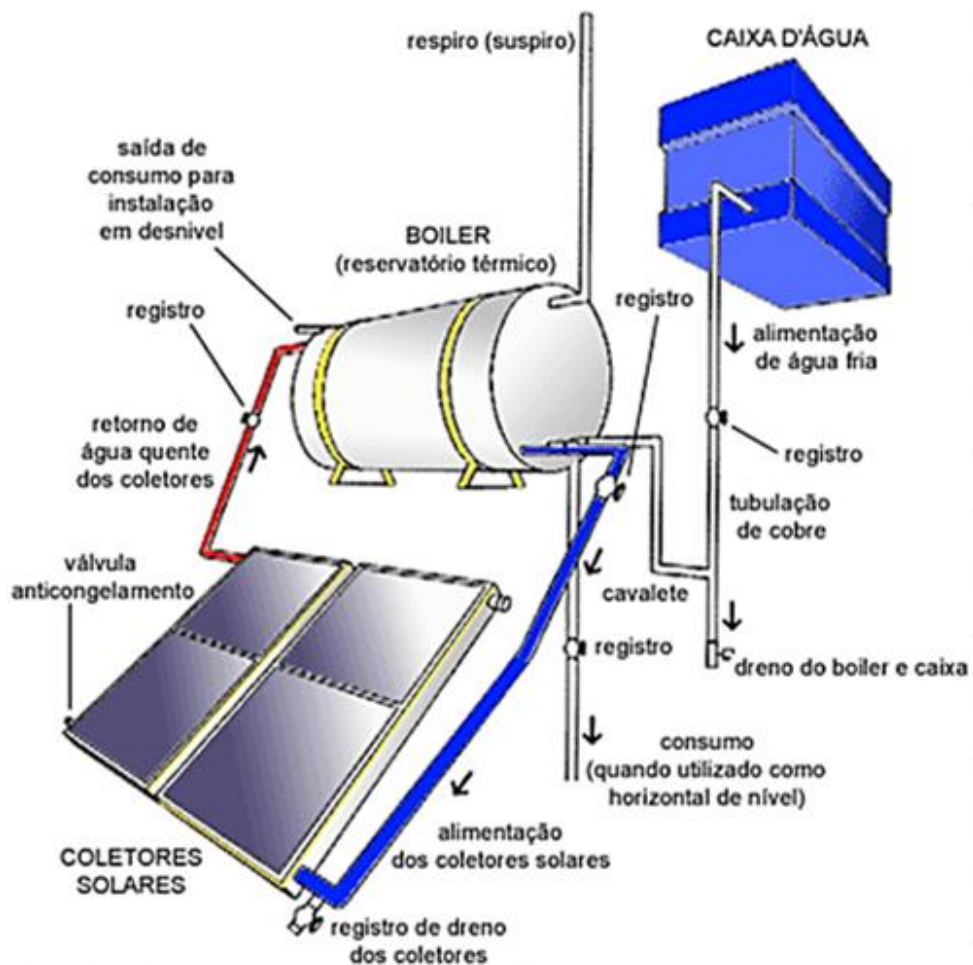


Figura 5: Sistema de aquecimento solar de água

Fonte: Soletrol, 2017.

Os sistemas ativos, por outro lado, usam uma bomba para circular a água do coletor para o boiler (KALOGIROU, TRIPANAGNOSTOPOULOS, 2006). Diferentemente do sistema que funciona por termossifão, é possível alocar o tanque de armazenamento em qualquer lugar. A figura 6 demonstra um modelo de sistema ativo.

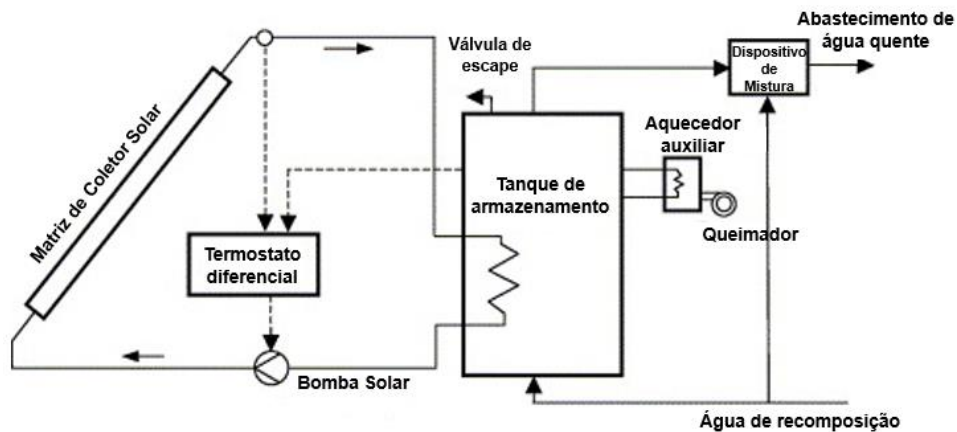


Figura 6: Sistema fotovoltaico/ térmico ativo

Fonte: Kalogirou e Tripanagnostopoulos, 2006

2.3 Energia fotovoltaica

2.3.1 Células fotovoltaicas

A tecnologia fotovoltaica se desenvolveu rapidamente nos últimos trinta anos (SAMPAIO et al., 2018).

O funcionamento das células solares baseia-se no efeito fotovoltaico, que é a conversão direta da luz incidente em eletricidade por um dispositivo semicondutor de junção (AVRUTIN; IZYUMSKAYA; MORKOÇ, 2011).

Dentro de cada célula existem camadas de um material semicondutor. A luz que incide sobre a célula cria um campo elétrico a partir das camadas, fazendo com que a eletricidade flua (TYAGI et al., 2013).

A eficiência elétrica depende do comprimento, da intensidade da luz solar que incide sobre o sistema, do tipo, qualidade das células fotovoltaicas, dos materiais e componentes das células utilizados no módulo solar (HOSENUZZAMAN et al., 2015).

Sampaio et al. (2018) explicam que existem três gerações de células fotovoltaicas classificadas de acordo com a tecnologia do material utilizado para construção das células. A primeira geração usufrui das tecnologias do silício monocristalino e policristalino. Para sistemas de segunda geração, utiliza-se silício amorfo, telureto de cádmio, seleneto de cobre índio, índio e disseleneto de gálio. Por fim, a terceira geração possui novos conceitos em desenvolvimento. Como está em fase de demonstração não foi amplamente comercializada, possui tecnologias de células fotovoltaicas orgânicas.

Primeira geração: A primeira célula de silício foi desenvolvida em 1954 pela empresa Bell Telephone Laboratories (CHAPIN; FULLER; PEARSON, 1954). O silício cristalino tem tradicionalmente dominado o mercado de produção de painéis fotovoltaicos (CYRS et al., 2014). As células de silício monocristalino possuem custo elevado de fabricação e grande disponibilidade desse material de alta perfeição. Estas células, em comparação com as policristalinas, são 15% mais eficientes (TYAGI et al., 2013).

Segunda geração: As células solares de segunda geração são amorfas e de baixo custo, mas também têm baixa taxa de eficiência (HOSENUZZAMAN et al., 2015). São células solares de película fina, são mais finas que as da primeira geração.

Terceira geração: as vantagens potenciais da utilização das células solares orgânicas incluem a simplicidade dos processos de deposição que podem ser utilizados (MILES; HYNES; FORBES, 2005). Esses materiais são flexíveis, bem como possuem custos menores de fabricação comparados aos materiais tradicionais. No entanto, as células fotovoltaicas orgânicas possuem durabilidade limitada e ainda não são capazes de converter a luz solar em eletricidade com a mesma eficiência que as células de silício (SAMPAIO et al., 2018).

A figura 7 demonstra características das células fotovoltaicas de acordo com o material.

GERAÇÃO	MATERIAIS DE CÉLULAS SOLARES	EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO (%)	RESISTÊNCIA À RADIAÇÃO	CONFIABILIDADE	CUSTO	ÁREA DE APLICAÇÃO
I (Si Cristalino)	Cristal único Si	24,7	Razoavelmente bom	Excelente	Bom	Terrestre, espaço
	Poli - Cristal Si	19,8	Razoavelmente bom	Excelente	Bom	Terrestre
II (Filme Fino) Próximo (Filme fino avançado)	Amorfo Si	14,5	Razoavelmente bom	Razoavelmente bom	Excelente	Consumidor, terrestre
	Filme fino de Poli-Si	16	Razoavelmente bom	Bom	Excelente	Terrestre
	II - VI Filme fino Composto	18,8	Excelente	Bom	Bom	Terrestre
Espaço	Concentrador em tandem	32,6	Excelente	Bom	Bom	Terrestre, espaço
	GaAs	25,7	Bom	Excelente	Razoavelmente bom	Espaço
	InP	22	Excelente	Excelente	Razoavelmente bom	Espaço
	Tandem	33,3	Bom	Excelente	Razoavelmente bom	Espaço
Novos materiais	TiO ₂	11	-	Razoavelmente bom	Excelente	Terrestre
	Orgânico	2	-	Razoavelmente bom	Excelente	Terrestre
	Carbono	3,3	-	Bom	Excelente	Terrestre

Figura 7: A geração de células solares e seus materiais, eficiência celular e sua área de aplicação.
Fonte: HOSENUZZAMAN et al., 2015

2.3.2 Sistema Fotovoltaico

As instalações fotovoltaicas são classificadas de acordo com sua conexão com a rede elétrica: conectados em rede ou sistemas autônomos (TRIKI-LAHIANI; ABDELGHANI; SLAMA-BELKHODJA, 2018). O primeiro fornece energia diretamente para a rede. Para este propósito, a corrente CC (corrente contínua) dos módulos solares é convertida em CA (corrente alternada) por um inversor (GOETZBERGER; HEBLING; SCHOCK, 2003).

O excedente de energia é armazenado na rede de distribuição. Não sendo possível a geração de energia pelos painéis fotovoltaicos utiliza-se energia da concessionária.

Na figura 8, é possível observar um modelo de sistema conectado à rede.

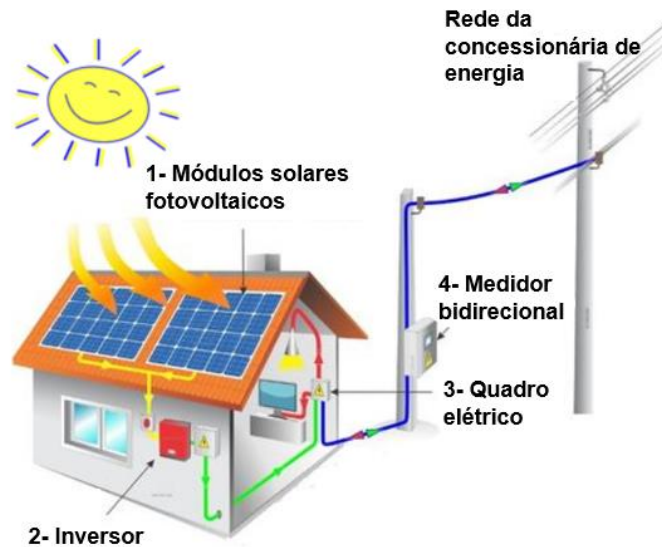


Figura 8: Sistema Fotovoltaico

Fonte: JNT Energia solar, 2018

As instalações autônomas não são conectadas à rede da concessionária de energia.

O sistema fotovoltaico sozinho não pode fornecer energia em uma base de 24 horas, portanto, tem que ser suportado por fontes de energia alternativas, baterias e outros (BEKELE; PALM, 2010).

2.4 Sistema de aquecimento solar híbrido

Mais de 80% da radiação solar que incide nas células fotovoltaicas não é convertida em eletricidade, mas refletida ou convertida em energia térmica (JI et al., 2007). Assim, para esse sistema, é possível trabalhar com o conceito híbrido, utilizando o mesmo aparelho para gerar energia elétrica e térmica simultaneamente. Tal solução é particularmente interessante em aplicações residenciais, visto que existe uma demanda por eletricidade e uma demanda por calor de baixa temperatura (GUARRACINO et al., 2016). Não é um conceito novo e, segundo Fudholi et al. (2014), os estudos começaram em meados da década de 1970. Esse sistema aumenta a taxa de conversão de energia, priorizando a produção de energia elétrica.

Geralmente, um sistema solar fotovoltaico/ térmico à base de água consiste em um módulo fotovoltaico, um coletor absorvedor na forma de tubos, uma cobertura de vidro transparente e um recipiente isolado (FUDHOLI et al., 2014).

Os sistemas fotovoltaicos térmicos podem ser instalados em um telhado horizontal ou inclinado, ou na fachada de um edifício (KALOGIROU, TRIPANAGNOSTOPOULOS, 2006). De maneira semelhante às placas fotovoltaicas, os sistemas híbridos também podem ser utilizados em sistemas independentes ou conectados à rede.

Na figura 9, é possível visualizar um diagrama esquemático com coletor de água fotovoltaico.

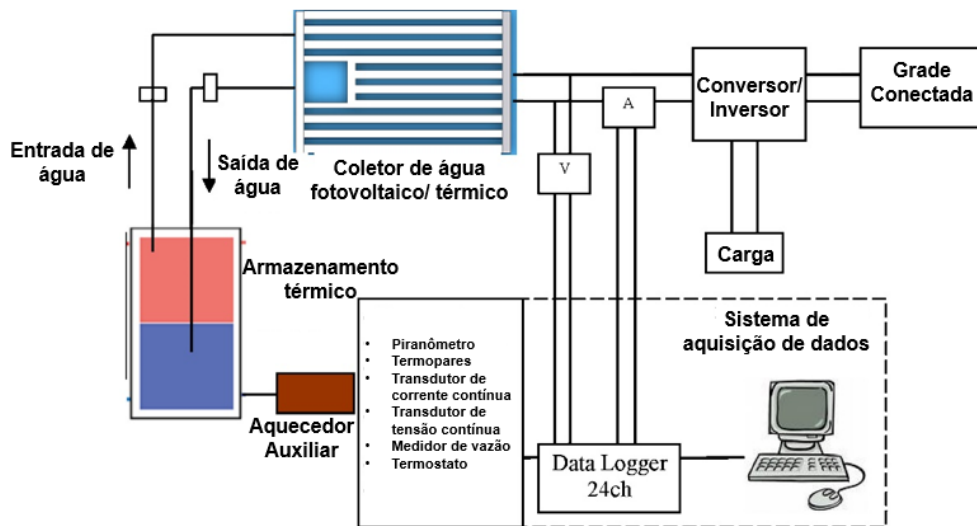


Figura 9: Diagrama esquemático do sistema solar fotovoltaico/térmico

Fonte: Ibrahim et al., 2011

2.5 Aquecedor a gás

2.5.1 Gás Liquefeito de Petróleo - GLP

O gás liquefeito de petróleo (GLP) é a fonte mais popular de combustível de energia para uso doméstico e comercial, bem como para o setor industrial (ZAKARIA et al., 2017), possuindo características ambientalmente benignas (ZHANG et al., 2004).

É composto principalmente de propano (C_3H_8) e *n*-butano (C_4H_{10}) com alguns propileno (C_3H_6), butileno (C_4H_8), e outras composições de menores hidrocarbonetos (SHI et al., 2018).

O GLP provém de duas fontes: naturalmente em campos de petróleo, quando é separado dos outros componentes durante o processo de extração; ou como subproduto do processo de refino de petróleo (ZHANG et al., 2004).

Basicamente, sendo comparado a outros combustíveis líquidos, o GLP é mais flexível para lidar e ter menos poluição com o mínimo de espaço usado para armazenamento (ZAKARIA et al., 2017).

A maneira comum dos queimadores domésticos e comerciais usarem o GLP é adquirindo GLP líquido, em cilindros disponíveis comercialmente, sem isolamento térmico, e os utilizando na forma gasosa (SHI et al., 2018).

2.5.2 Modelos de Aquecedores de água a gás

Aquecedores de água a gás são amplamente utilizados para fornecer água quente doméstica (JOHNSON; BEAUSOLEIL-MORRISON, 2016).

2.5.2.1 Aquecedor de passagem

A utilização de aquecedores individuais de passagem foi difundida principalmente pela facilidade de implantação em residências, bem como a necessidade de pouco espaço a ser ocupado, se comparado aos sistemas de acumulação (CHAGURI, 2009).

Esse modelo de aquecedor é usualmente utilizado em residências, a água é aquecida instantaneamente, dispensando a utilização de reservatórios.

Os aquecedores de passagem são aqueles que permitem o aquecimento imediato da água que passa por eles por meio de uma serpentina de cobre, em razão do calor desenvolvido com a combustão do gás, que sai por um ou vários queimadores (ZOELLNER, 2005).

Alguns aquecedores mantêm acesa uma pequena chama piloto que serve para provocar a ignição da chama principal, responsável pelo funcionamento do aquecedor. Outros modelos fazem uso de um dispositivo eletrônico chamado centelhador ou faiscador (GUTTERRES, 2014).

A figura 10 demonstra um esquema desse modelo de aquecedor.

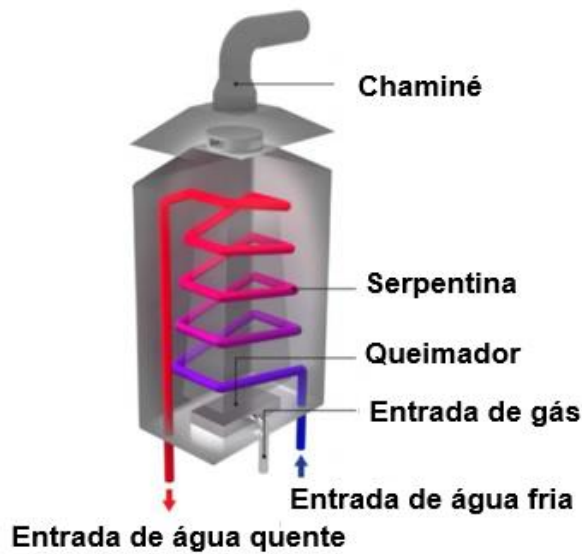


Figura 10: Funcionamento do aquecedor de passagem
Fonte: Sindigás, 2017

Saraiva (2012) analisou algumas configurações de aquecimento de água no estado de São Paulo, entre elas com aquecedor de passagem. Para esse tipo de aquecedor, o custo na utilização do gás combustível foi inferior ao custo da eletricidade em pelo menos 10%.

2.5.2.2 Aquecedor Por Acumulação

Os aquecedores de acumulação são aparelhos com características de manter um volume de água quente armazenado, disponível para atender à demanda nos horários de maior consumo (CHAGURI, 2009).

A água é aquecida por meio do calor liberado pela combustão do gás que alimenta o queimador. Esses aquecedores também podem abastecer diversos pontos de água quente da casa (BARUFI, 2008).

Há uma entrada de água fria, que ocorre na parte de baixo do reservatório (parte mais fria), e uma saída na parte superior de água quente, que distribui essa água para os pontos de consumo (CHAGURI, 2009).

Estes aparelhos podem produzir grande quantidade de água quente para o uso domiciliar, comercial e industrial (duchas, torneiras simultâneas, banheiras de hidromassagem) (ZOELLNER, 2005).

Na figura 11, é apresentado um modelo de aquecedor de acumulação

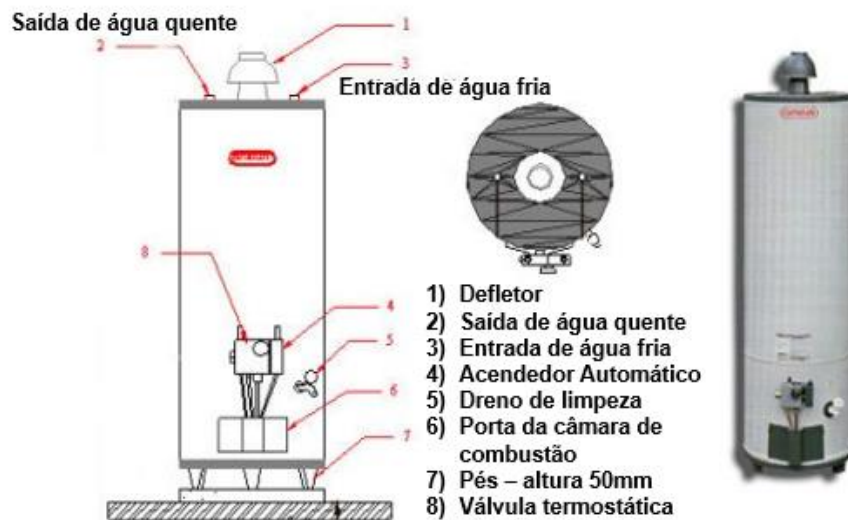


Figura 11: Modelo de aquecedor de acumulação.
Fonte: Brasiltec, 2011

Esses reservatórios são termicamente isolados, e devem ser dimensionados de maneira que seja desnecessário o aquecimento de água em horários de pico. Chaguri (2009) realizou medições para apurar as perdas térmicas em aquecedores de acumulação, no intuito de comparar os valores teóricos fornecidos por fabricantes. Para isso ele utilizou um sistema de aquecimento central privado conjugado com reservatório de 150 litros. Analisando as medições, ao considerar a perda de temperatura linear com o tempo, verificou uma perda de aproximadamente $0,40^{\circ}\text{C}/\text{h}$, inferior aos valores fornecidos por fabricantes ($1^{\circ}\text{C}/\text{h}$), mostrando que as perdas térmicas são mínimas.

2.6 Viabilidade econômica

Para dar suporte às decisões de investimentos, as análises de viabilidade econômica devem ser feitas com métodos e critérios que demonstrem com bastante clareza os retornos sobre os investimentos, considerando os níveis de risco assumidos (HOJI, 2009).

No orçamento de capital, muitos critérios diferentes são usados para avaliar um projeto, medir a eficiência econômica e tomar decisões (MARCHIONI; MAGNI, 2018).

De acordo com Borgonovo (2003, *apud* BORGONOVO; PECCATI, 2006), o processo de tomada de decisão é um esforço multidisciplinar que reúne análises econômicas, técnicas, financeiras e de risco.

Para a tomada de decisão em relação à viabilidade econômica, os principais índices utilizados são: Valor Presente Líquido, Payback descontado e Taxa Interna de Retorno.

2.6.1 Valor presente líquido (VPL)

O VPL representa, em valor numérico atual, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de inovação, para um horizonte igual a duração do projeto. Esse indicador exprime uma estimativa direta do aumento da riqueza obtido por um empreendimento (RASOTO, GNOATTO, *et. al.* 2012). Analisando o VPL, é possível identificar se o investimento será aceito ou rejeitado pela empresa.

A VPL pode ser calculada pela equação 1:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} \quad (1)$$

Onde:

FC_0 = Corresponde ao investimento inicial (\$);

FC_j = Corresponde ao fluxo de caixa líquido no tempo j (\$);

Σ = Corresponde ao somatório dos fluxos de caixa da data "1" até a data "N".

TMA= Taxa mínima de atratividade decimal.

Para aprovação ou rejeição de um projeto, deve-se seguir os seguintes critérios de decisão:

Se o VPL for maior que \$0, o projeto deverá ser aceito, pois indica que a empresa obterá retorno superior a seu custo de capital.

Se o VPL for menor que \$0, o projeto deverá ser rejeitado. Esse resultado indica que a empresa não terá lucros.

2.6.2 PayBack descontado (PBD)

O Payback descontado indica o tempo necessário para que os benefícios do projeto restituam o valor investido, ou seja, para que as entradas de caixa se igualem ao que foi investido, podendo ser considerado uma medida de risco do projeto (RASOTO, GNOATTO, *et.al.* 2012). O payback descontado pode ser calculado por meio da fórmula 2:

$$Payback = \text{mínimo } \{j\}, \text{ tal que } \sum_{j=1}^N \frac{B_j}{(1 + TMA)^j} \geq -FC_0 \quad (2)$$

Onde:

B_j: Corresponde aos benefícios esperados (\$).

2.6.3 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno representa a taxa média periódica de retorno de um projeto suficiente para repor, de forma integral e exata, o investimento realizado (BROM e BALIAN, 2007).

Por definição, a taxa interna de retorno de um fluxo de caixa é a taxa para a qual o Valor presente líquido do fluxo é nulo.

Se a TIR for maior que TMA (taxa mínima de atratividade), o investimento será considerado viável.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as ferramentas para dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água, utilizando as seguintes fontes de energia: energia elétrica, energia solar térmica, energia solar fotovoltaica e GLP.

Considerou-se um consumo médio de água quente para uma residência com cinco pessoas, na cidade de Cascavel – PR, com latitude: 24° 57'21"S, longitude 53°27'19"W e altitude de 781 metros, com médias mensais de 13,8°C a 21,9 °C (CLIMADATA, 2018). A temperatura da água estimada para os banhos foi de 35°C nos meses de setembro a fevereiro (primavera e verão) e 40° para os meses de março a agosto (outono e inverno).

Os sistemas de aquecimento de água foram dimensionados considerando os seguintes cenários:

Cenário 01: utilização somente de energia elétrica proveniente da concessionária (para alimentar a resistência elétrica de um chuveiro eletrônico);

Cenário 02: utilização somente de energia solar térmica (coletor solar);

Cenário 03: utilização somente de energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de um chuveiro eletrônico);

Cenário 04: utilização somente de GLP (aquecedor a gás);

Cenário 05: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de energia elétrica (resistência elétrica de aquecimento);

Cenário 06: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte de energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de aquecimento);

Cenário 07: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de GLP (aquecedor a gás);

Para a realização dos dimensionamentos propostos neste trabalho, foram adotadas algumas premissas apresentadas a seguir:

Vazão do chuveiro eletrônico (Q_{pu}): 4L/min ($6,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)

Tempo médio de banho (t_u): 10 min (600 s ou 0,167 horas)

Frequência de banhos diários = 5 vezes/dia.

Custo da energia elétrica: R\$ 0,998/ kWh. Atualmente, na fatura expedida pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia), há cobranças de ICMS, PIS, COFINS e iluminação pública. Com intuito de obter um valor do custo da energia mais próximo do real, não foi considerado somente o valor unitário da tarifa de energia elétrica, mas sim um valor que possa agregar todas as demais taxas. Esse valor foi calculado pela razão entre o valor total da fatura e o consumo total apresentado, considerando todas as cargas da residência.

Para os cálculos da análise financeira, para os sistemas de aquecimento solar, fotovoltaico e aquecedor a gás (GLP), foi considerado um acréscimo de 5% no valor do orçamento dos sistemas, de modo a considerar as possíveis adaptações e adequações que normalmente ocorrem durante o processo de instalação.

3.1 Dimensionamento do volume de água quente

Para calcular a demanda de água quente consumida para os banhos utilizou-se a equação (3) (NBR 15569,2008).

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

Onde:

$V_{consumo}$ = volume total de água quente consumido diariamente [m³]

Q_{pu} = vazão da peça de utilização [m³.s⁻¹]

T_u = tempo médio de uso diário da peça de utilização [s]

Frequência de uso = número total de utilização da peça por dia.

3.2 Cenário 01: utilização somente de energia elétrica

3.2.1 Potência nominal do aquecedor elétrico

Calculou-se a potência nominal deste cenário pela equação 4.

$$P_{APE} = \dot{m}_{mas} \cdot C_p \cdot (T_c - T_{am}) \quad (4)$$

Onde:

P_{APE} = potência nominal do aquecedor de passagem elétrico [kW]

\dot{m}_{mas} = vazão mássica de água da instalação [Kg.h⁻¹]

T_c = temperatura de consumo [°C]

T_{am} = temperatura ambiente média anual [°C]

C_p = calor específico da água [0,001163 kWh.Kg.⁻¹°C⁻¹]

3.2.2 Consumo de energia elétrica para aquecedor elétrico

Para mensuração do consumo médio mensal de energia elétrica foi utilizada a equação 5.

$$C_{AQUEC} = t_u \cdot P_{APE} \cdot N_b \cdot N_d \quad (5)$$

Onde:

C_{AQUEC} = consumo médio mensal de energia no aquecedor [kWh.mês⁻¹]

t_u = tempo de cada banho [horas]

N_b = número total de banhos diários

N_d = número médio de dias úteis em um mês [será adotado 30 dias]

3.3 Cenário 02: utilização somente de energia solar térmica

3.3.1 Radiação solar disponível

A tabela 1 apresenta os dados médios da radiação solar para cidades de Cascavel – PR. Esses dados foram extraídos CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito.

Tabela 1: Radiação solar diária média na cidade de Cascavel - PR

Mês	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]
Janeiro	6,1
Fevereiro	6,27
Março	5,54
Abril	5,13
Mai	4,28
Junho	3,36
Julho	3

Agosto	3,21
Setembro	4,22
Outubro	4,41
Novembro	5,19
Dezembro	6,01

Fonte: CRESESB (2018)

3.3.2 Temperaturas ambientes médias mensais da cidade de Cascavel

Os valores médios mensais das temperaturas ambientes foram considerados, neste trabalho, como sendo iguais aos valores médios mensais das temperaturas da água fria. Esses valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Temperatura média mensal

Mês	Temperatura média mensal [°C]
Janeiro	21,9
Fevereiro	22
Março	20,8
Abril	18,2
Maio	15,2
Junho	13,8
Julho	13,9
Agosto	15,4
Setembro	16,9
Outubro	18,6
Novembro	20,1
Dezembro	21,1

Fonte: Climadata.org (2018)

3.3.3 Volume do sistema de armazenamento (NBR 15569,2008).

O volume do reservatório de água quente (boiler) pode ser calculado pela equação 6.

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (6)$$

Onde:

$V_{consumo}$ = volume de consumo diário [m³]

V_{armaz} = volume do sistema de armazenamento do SAS (sistema de aquecimento solar) [m³]. Sugere-se que $V_{armaz} \geq 75\%V_{consumo}$.

$T_{consumo}$ = temperatura de consumo de utilização [°C].

T_{armaz} = temperatura de armazenamento da água [°C]. Sugere-se que $T_{armaz} \geq T_{consumo}$.

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

3.3.4 Área do coletor solar (NBR 15569,2008)

A área do coletor solar pode ser calculada pela equação 7.

$$A_{coletora} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (E_i + E_p) S}{\sum_{i=1}^{12} E_m} \quad (7)$$

Onde:

$A_{coletora}$ = área coletora [m²]

E_i = energia útil para aquecimento da água [kWh.mês⁻¹]

E_p = somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário [kWh.mês⁻¹] calculado pela equação 8.

$$E_p = 0,15 E_i \quad (8)$$

S = fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar, dado pelas equações 9 (para $15^\circ < \beta < 90^\circ$) e 10 (para $\beta < 15^\circ$).

$$S = \frac{1}{1 - [1,2 \cdot 10^{-4}(\beta - \beta_0)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5}\gamma^2]} \quad (9)$$

$$S = \frac{1}{1 - [1,2 \cdot 10^{-4}(\beta - \beta_0)^2]} \quad (10)$$

Onde:

β = inclinação do coletor em relação ao plano horizontal [°]

β_0 = inclinação ótima do coletor para o local de instalação [°] (latitude + 10°)

γ = ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico (°)

E_m = produção média mensal de energia específica do coletor solar (kWh.m⁻²) calculada pela equação 11.

$$E_M = [F_R(\tau_c \alpha_p)_\theta - (0,0249F_R U_L)].H.N_d \quad (11)$$

Onde:

$F_R(\tau_c \alpha_p)_\theta$ = Coeficiente de ganho do coletor solar, adimensional e informado pelo fabricante

$F_R U_L$ = Coeficiente de perdas do coletor solar informado pelo fabricante kW/m².°C

H = radiação solar horizontal diária em média mensal [(kWh.m⁻². dia⁻¹)]

N_d = número de dias do mês correspondente

Para dimensionar o reservatório térmico, a NBR utiliza a seguinte relação:

$$V_R \geq 0,75 V_c$$

Onde:

V_R = volume do reservatório de água quente [L]

V_c = volume diário de água quente consumido [L]

3.4 Cenário 03: utilização somente de energia solar fotovoltaica

Para esse cenário, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para suprir a necessidade de energia elétrica consumida pelo chuveiro elétrico.

Será um sistema fotovoltaico conectado à rede (on grid).

3.4.1 Potência dos painéis fotovoltaicos

A potência de pico dos painéis fotovoltaicos pode ser calculada a partir da equação 12 (PINHO; GALDINO, 2014)

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (12)$$

Onde:

P_{FV} = potência de pico dos painéis fotovoltaicos [Wp]

E = consumo diário médio anual da edificação ou fração deste [Wh.dia⁻¹]

TD = taxa de desempenho [admissional]

HSP_{MA} = média diária anual das horas de Sol Pleno incidente no plano do painel fotovoltaico [h.dia⁻¹]

3.4.2 Inversor de tensão

O fator de dimensionamento de inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal c.a. do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, conforme equação 13 (PINHO; GALDINO, 2014).

$$FDI = \frac{P_{NCA}}{P_{FV}} \quad (13)$$

Onde:

FDI = fator de dimensionamento do inversor [adimensional]

P_{NCA} = potência nominal em corrente alternada do inversor [W]

P_{FV} = potência pico do painel fotovoltaico [Wp]

3.4.2.1 Instalação dos módulos fotovoltaicos

O número máximo de módulos em série que pode ser conectado ao inversor é calculado pela equação 14.

$$N^{\circ}módulos_{série} \cdot V_{ocTmin} < V_{inmáx} \quad (14)$$

Onde:

$N^{\circ}módulos_{série}$ = número de módulos fotovoltaicos conectados em série

$V_{inmáx}$ = máxima tensão admitida pela entrada (*input*) do inversor [V]

V_{ocTmin} = tensão em circuito aberto de um módulo fotovoltaico na menor temperatura de operação prevista [V]

O número de módulos conectados em série deve resultar em tensões que atendam a faixa de tensão MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) do inversor, conforme equação 15.

$$\frac{Vi_{MPPTmin}}{V_{mpTmáx}} < N^{\circ}módulos_{série} < \frac{Vi_{MPPTmáx}}{V_{mpTmin}} \quad (15)$$

Onde:

$V_{i_{MPPTmin}}$ = mínima tensão de operação do MPPT de entrada (*input*) do inversor [V]

$V_{i_{MPPTmax}}$ = máxima tensão de operação do MPPT de entrada (*input*) do inversor [V]

V_{mpTmin} = tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo fotovoltaico na menor temperatura de operação prevista [V]

V_{mpTmax} = tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo fotovoltaico na maior temperatura de operação prevista [V]

O inversor fotovoltaico possui uma corrente máxima de entrada c.c. É possível calcular a quantidade máxima de fileiras das séries fotovoltaicas por meio da equação 16.

$$N^{\circ}módulos_{paralelo} \leq \frac{li_{máx}}{l_{sc}} \quad (16)$$

Onde:

$N^{\circ}módulos_{paralelo}$ = número máximo de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo

$li_{máx}$ = corrente máxima admitida na entrada (*input*) do inversor [A]

l_{sc} = corrente de curto – circuito do módulo fotovoltaico nas condições previstas de temperatura [A]

3.5 Cenário 04: utilização somente de GLP

3.5.1 Aquecedores de passagens utilizando GLP

Para calcular a potência nominal do aquecedor de passagem utilizou-se a equação (17) (ABRAVA, 2008).

$$P_{APG} = \dot{m}_{mas} \cdot c_p \cdot (T_c - T_{am}) \quad (17)$$

Onde:

P_{APG} = potência nominal do aquecedor [kW]

\dot{m}_{mas} = vazão mássica de água da instalação [Kg.h⁻¹]

T_{am} = temperatura ambiente média anual [°C]

T_c = temperatura de consumo [°C]

c_p = calor específico da água [0,001163 kWh.Kg.⁻¹°C⁻¹]

3.5.2 Vazão do GLP

A vazão de gás pode ser calculada dividindo-se a potência calculada pelo poder calorífico inferior do gás (PCI), conforme equação 18; NBR 155526 (2012).

$$Q = \frac{P_{APG}}{PCI} \quad (18)$$

Onde:

Q = vazão de gás [m³.h⁻¹]

P_{APG} = potência nominal do aquecedor [kW]

PCI = poder calorífico inferior [13,0256 kWh.kg⁻¹]

Multiplicando a vazão pelo tempo de banho [horas], é possível obter o volume de gás consumido.

Para obter a massa utilizada de GLP, foi utilizada a equação 19.

$$d = \frac{m}{V} \quad (19)$$

Onde:

d = densidade média do GLP (2,50 kg.m⁻³)

m = massa [Kg]

V = volume [m³]

3.6 Sistemas de aquecimento auxiliar e fontes auxiliares - cenários 05, 06 e 07

Os cenários 05, 06 e 07 utilizam sistemas de aquecimento solar como base e fontes auxiliares de energia para complementar o aquecimento da água (quando necessário). As fontes auxiliares que foram utilizadas, respectivamente para os cenários 05, 06 e 07, são: energia elétrica da concessionária, energia fotovoltaica e GLP.

O sistema de aquecimento auxiliar tem como objetivo a garantia de fornecimento de água quente em períodos de baixa insolação ou consumo excessivo de água quente (ABRAVA, 2008).

O dimensionamento dos sistemas auxiliares foi realizado na seguinte sequência:

- Calculou-se a energia média mensal necessária para o aquecimento de água durante o período de um ano (energia consumida);
- Mensurou-se a energia média mensal disponibilizada pela radiação solar para o sistema de aquecimento solar durante o período de um ano;
- Foram comparados os valores médios mensais de energia disponível e necessária, e nos períodos em que ocorreram déficits energéticos, o complemento de energia foi suprido pela fonte auxiliar;
- O dimensionamento da potência da fonte auxiliar foi realizado para satisfazer a necessidade de água quente em todos os períodos do ano;
- O cálculo anual da energia consumida pela fonte auxiliar foi determinado a partir dos déficits energéticos existentes em alguns períodos do ano.

3.7 Avaliação econômica

Para a avaliação econômica dos sistemas de aquecimentos de água considerou-se todos os custos de aquisição, instalação, manutenção e consumo de energia elétrica e GLP. Posteriormente, foram determinados os custos anualizados e os custos específicos (\$/kWh) dos sistemas, para cada um dos cenários. Por fim, calculou-se alguns índices econômicos comparativos (VPL, PBD e TIR), de maneira a determinar qual sistema apresenta maior viabilidade de implantação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dimensionamentos dos sistemas foram realizados de acordo com os cálculos explanados a seguir.

4.1 Dimensionamento do volume de água quente

O volume de consumo diário de água quente foi calculado com base na equação 3, sendo $Q_{pu} = 4$ L/min, $t_u = 10$ min e frequência de uso = 5 vezes/dia. Portanto, $V_{cons} = 200$ L/dia.

4.1 Cenário 01: utilização somente de energia elétrica

A potência nominal foi calculada por meio da equação 4, onde a \dot{m}_{mas} de água para os banhos é de ≈ 240 kg. h^{-1} (200 kg de água / 0,8333 horas de total de banho) $c_p = 0,001163$ kWh.kg $^{-1}$. °C $^{-1}$, $T_c = 40$ °C, $T_{am} = 13,8$ °C. Resultando, $P_{ape} = 7,31$ kW.

Para o cálculo da potência média, utilizou-se novamente a equação 4. Assim, foi considerado como temperatura ambiente 35°C nos meses de setembro a fevereiro (primavera e verão) e 40° para os meses de março a agosto (outono e inverno). Foi considerado T_{am} = Temperatura média mensal.

O Consumo de energia foi calculado pela equação 5, sendo $t_u = 0,167$ horas/banho, $N_b = 5$ banhos/dia, P_{ape} = Potência média utilizada e N_d = dias do mês.

A tabela a seguir mostra os resultados calculados para consumo de energia e seus respectivos valores financeiros.

Tabela 3: Dados sobre cenário 01 - utilização de energia elétrica

Meses	Dias no mês (N _d)	Temperatura média mensal	Potência Média utilizada (P _{ape})	Cons. Energia [kWh/mês]	Custo da Energia
Janeiro	31	21,9	3,66	94,46	R\$ 94,30
Fevereiro	28	22,0	3,63	84,67	R\$ 84,53
Março	31	20,8	5,36	138,44	R\$ 138,22
Abril	30	18,2	6,08	152,12	R\$ 151,87
Mai	31	15,2	6,92	178,82	R\$ 178,53
Junho	30	13,8	7,31	182,82	R\$ 182,52
Julho	31	13,9	7,29	188,20	R\$ 187,89
Agosto	31	15,4	6,87	177,38	R\$ 177,09
Setembro	30	16,9	5,05	126,30	R\$ 126,09
Outubro	31	18,6	4,58	118,25	R\$ 118,06
Novembro	30	20,1	4,16	103,97	R\$ 103,80
Dezembro	31	21,1	3,88	100,23	R\$ 100,06
Total anual:			64,78	1645,67	R\$ 1.642,96

As especificações técnicas e o custo do chuveiro eletrônico estão apresentados a seguir:

Ducha Advanced Multitemperaturas (Lorenzetti), potência 7500 W, vazão máxima 4,20 L. min⁻¹.

Custo de aquisição: R\$ 125,18. Vida útil do chuveiro: 3 anos.

Para aquisição do chuveiro foi considerado o mês crítico (junho cuja potência média utilizada 7,31 kW).

Informações adicionais sobre o chuveiro eletrônico estão apresentadas no anexo A.

4.3 Cenário 02: utilização somente de energia solar térmica

O volume do reservatório de água quente (boiler) foi dimensionado utilizando-se a equação 6, onde $V_{\text{cons}} = 0,20 \text{ m}^3$, $T_{\text{consumo}} = T_{\text{armazenamento}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ e $T_{\text{ambiente}} = 13,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Resultando, $V_{\text{armaz}} = 0,20 \text{ m}^3$ ou 200 litros.

Para o cálculo da área do coletor solar foi utilizada equação 7. Para isso $E_i = 188,20 \text{ kWh. mês}^{-1}$ (energia útil para aquecimento de água do mês crítico, extraído da tabela 1). O somatório das perdas térmicas dos circuitos primários e secundário foram calculados com auxílio da equação 8, onde $E_p = 28,23 \text{ kWh. mês}^{-1}$. $S = 1,01215$, conforme equação 9, $\beta = 25^\circ$ e $\beta_0 = 35^\circ$.

Para o cálculo da produção média mensal de energia específica do coletor solar foram utilizados $F_r U_L = 2,103$; $F_r = 0,779$ (CALZA, 2014). Esses dados são

inexistentes nas tabelas do INMETRO e na ficha técnica do aparelho, em razão disso foram extraídos do autor citado. Resultando, $E_m=106,471 \text{ kWh.m}^{-2}$ e área do coletor solar= $2,0574 \text{ m}^2$.

Características técnicas do aquecedor solar: Komeco KOCS TV 20 BP G2, coletor de tubos a vácuo (conjunto de 20 tubos), sistema ativo, reservatório térmico de 200 L. Custo de aquisição: R\$3090,00, custo de instalação: R\$1500,00 e custo de manutenção de R\$ 100,00 por ano.

Informações adicionais sobre o sistema de aquecimento solar (coletor e boiler) estão apresentadas no anexo B.

4.4 Cenário 03: utilização somente de energia solar fotovoltaica

A potência de pico dos painéis fotovoltaicos foi determinada com a equação 12, sendo $E= 4508,68 \text{ Wh. dia}^{-1}$ ($1.645.670 \text{ Wh/ano} / 365 \text{ dias/ano}$), $TD= 0,7$ e $HSP_{MA}=4,73 \text{ h.dia}^{-1}$. Serão necessários $P_{FV}=1362,69 \text{ Wp}$.

Os equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico possuem as seguintes especificações: 4 placas fotovoltaicas Canadian de 330Wp cada, um inversor Canadian, modelo Csi-1.5k-tl, potência 1,5 kW. Custo de aquisição + custos de instalação: R\$8.834,39. A vida útil dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos, ao passo que a do inversor é de 10 anos.

Informações adicionais sobre o sistema fotovoltaico (painel e inversor) estão apresentadas nos anexos C e D.

4.5 Cenário 04: utilização somente de GLP

A potência nominal do aquecedor de passagem foi calculada com a equação 17, sendo a \dot{m}_{mas} de água para os banhos é de $=240 \text{ kg. h}^{-1}$, $c_p= 0,001163 \text{ kWh.kg}^{-1}.$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$, $T_c=40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{am}= 13,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Resultando, $P_{ape}= 7,31 \text{ kW}$. A vida útil do aquecedor a gás é de 10 anos.

O consumo médio de gás foi determinado dividindo-se o consumo de energia do aparelho pelo poder calorífico inferior do GLP (PCI) = $13,0256 \text{ kWh.kg}^{-1}$.

Na coluna potência média necessária, a potência média real foi dividida pelo rendimento do sistema de aquecimento a gás (84%).

A tabela 4 apresenta os valores calculados para consumo de energia do aparelho de aquecimento e consumo de gás mês a mês.

Tabela 4: Dados sobre cenário 04 – Consumo médio de GLP, para aquecimento de água para cinco pessoas

Período	Dias no mês	Temperatura média mensal	Potência Média necessária (kW)	Consumo Energ. Aparelho [kWh/mês]	Cons. médio de gás Kg/mês
Janeiro	31	21,9	4,35	112,45	8,63
Fevereiro	28	22,0	4,32	100,79	7,74
Março	31	20,8	6,38	164,81	12,65
Abril	30	18,2	7,24	181,10	13,90
Maiο	31	15,2	8,24	212,88	16,34
Junho	30	13,8	8,71	217,65	16,71
Julho	31	13,9	8,67	224,04	17,20
Agosto	31	15,4	8,17	211,17	16,21
Setembro	30	16,9	6,01	150,36	11,54
Outubro	31	18,6	5,45	140,78	10,81
Novembro	30	20,1	4,95	123,78	9,50
Dezembro	31	21,1	4,62	119,32	9,16
Total consumo médio de gás anual:					150,41
Custo total/ano:					R\$ 1.052,84

Para tal estudo, por motivos comerciais (menor vazão encontrada no mercado), será utilizado aquecedor a gás de vazão de 15 L/min, da marca Komeco KO 15D, consumo máximo de 1,83 kg.h⁻¹. Custos de aquisição e instalação respectivamente: R\$1462,33 e R\$480,00. Custos do GLP (45 kg) e do vasilhame respectivamente são: R\$315,00 e R\$550,00. Custo com manutenção anual: R\$200,00.

Informações adicionais sobre o sistema de aquecimento a gás estão apresentadas no anexo E.

4.6 Cenários 05, 06 e 07 - utilização de energia solar térmica como base, com fontes auxiliares.

Os cenários 05, 06 e 07 são sistemas de aquecimento solar com apoio de aquecimento auxiliar. Primeiro foi calculada a energia que será gerada pelos coletores de maneira que a água para banho esteja na temperatura ideal.

Energia útil diária necessária é igual ao consumo de energia da tabela 3.

Para o dimensionamento da energia útil mensal fornecida foram utilizados os dados técnicos fornecidos pela Komeco (76,15 kWh. mês⁻¹ por metro quadrado;

diâmetro e comprimento dos tubos respectivamente: 0,058m e 1,8m), baseado nessa informação foi realizado um cálculo de proporcionalidade, em função da irradiação solar diária média e do número de dias do mês, para identificar quais meses possuem a necessidade de fonte auxiliar de energia. A última coluna da tabela 5 representa a diferença entre as colunas anteriores, nos meses que ocorreram déficits energéticos.

Na tabela 5, é possível visualizar os meses que necessitam de fonte auxiliar de energia.

Tabela 5: Avaliação do aquecedor solar

Período	Dias por mês	Temperatura média mensal [°C]	Irradiação solar diária média [kWh/m ²]	Energia útil diária necessária [kWh]	Energia útil mensal necessária [kWh]	Energia útil mensal fornecida [kWh]	Meses que necessitam de fonte auxiliar de energia (kWh)
Janeiro	31	21,9	6,10	3,05	94,46	209,57	
Fevereiro	28	22	6,27	3,02	84,67	194,57	
Março	31	20,8	5,54	4,47	138,44	190,33	
Abril	30	18,2	5,13	5,07	152,12	170,56	
Maio	31	15,2	4,28	5,77	178,82	147,05	31,78
Junho	30	13,8	3,36	6,09	182,82	111,71	71,11
Julho	31	13,9	3,00	6,07	188,20	103,07	85,13
Agosto	31	15,4	3,21	5,72	177,38	110,28	67,10
Setembro	30	16,9	4,22	4,21	126,30	140,31	
Outubro	31	18,6	4,41	3,81	118,25	151,51	
Novembro	30	20,1	5,19	3,47	103,97	172,56	
Dezembro	31	21,1	6,01	3,23	100,23	206,48	
Total:					1645,67	1908,01	255,11

Sendo assim, serão necessárias fontes auxiliares para os meses de maio, junho, julho e agosto, as quais fornecerão 255,11 kWh de energia para esses quatro meses.

4.6.1 Cenário 05: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de energia elétrica.

Para o cálculo da potência foi utilizada a equação 5. Para o C_{aquec} = consumo de energia chuveiro, N_b = 5 banhos, N_d = dias/ mês.

A tabela a seguir apresenta os valores para consumo de energia do aparelho de aquecimento (chuveiro eletrônico) e os gastos anual com o mesmo.

Tabela 6: Dados sobre cenário 05 - energia elétrica como fonte auxiliar

Período	Dias/ mês	Temperatura média mensal [°C]	Potência Média utilizada (kW)	Consumo de energia chuveiro [kWh/mês]	Valores [R\$]
Maio	31	15,2	1,23	31,78	31,73
Junho	30	13,8	2,84	71,11	70,99
Julho	31	13,9	3,30	85,13	84,99
Agosto	31	15,4	2,60	67,1	66,99
TOTAL:			9,97	255,12	254,70

Será utilizado o mesmo chuveiro eletrônico do cenário 1. As especificações técnicas já foram mencionadas anteriormente.

4.6.2 Cenário 06: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte de energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de aquecimento).

Primeiro foi determinada a potência de pico dos painéis fotovoltaicos com a equação 12, sendo $E = 698,93 \text{ Wh. dia}^{-1}$, $TD = 0,7$ e $HSP_{MA} = 4,73 \text{ h.dia}^{-1}$. Serão necessários $P_{FV} = 211,09 \text{ Wp}$.

Os painéis fotovoltaicos utilizados são da marca Canadian com potência de 330 W (igual ao cenário 3). Para determinar a quantidade de painéis necessários, dividiu-se a potência de pico pela potência, sendo necessária uma placa fotovoltaica para suprir a demanda de energia consumida. O custo dessa placa é de R\$730,00.

Como a potência de pico do painel fotovoltaico foi de apenas 211,09 Wp, foi utilizado o micro inversor de menor potência, 250W, da marca Hoymiles, cujo valor é R\$1089,96.

Além dos custos citados para esse sistema, é necessário a instalação no valor de R\$500,00, totalizando investimento com o sistema fotovoltaico de R\$2.319,96.

Informações adicionais sobre o sistema fotovoltaico complementar (painel e inversor) estão apresentadas no anexo F.

4.6.3 Cenário 07: utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de GLP (aquecedor a gás).

Para determinar o consumo de energia do aparelho, a quantidade de energia necessária foi dada pelo rendimento do sistema de aquecimento a gás (84%).

O consumo médio de gás foi determinado dividindo-se o consumo de energia do aparelho pelo poder calorífico inferior do GLP (PCI) = 13,0256 kWh.kg⁻¹.

Para esse cenário foi utilizado o mesmo aquecedor a gás do cenário 4, uma vez que foi o aparelho encontrado no mercado com menor vazão. Os dados obtidos constam na tabela 7.

Tabela 7: Dados sobre cenário 07 - aquecedor a gás como fonte auxiliar

Período	Dias no mês	Cons. Energ. Aparelho [kWh/mês]	Cons. médio de gás [Kg]/mês
Maio	31	37,83	2,90
Junho	30	84,65	6,50
Julho	31	101,35	7,78
Agosto	31	79,88	6,13
Total consumo de gás anual:			23,32
Custo total/ano:		R\$	163,22

4.7 Avaliação Econômica – Fluxo de Caixa/ Payback/ VAUE e TIR

As tabelas 8 a 13 apresentam os dados necessários para a realização de uma avaliação econômica comparativa entre os vários sistemas estudados. O cenário 01 (utilização do chuveiro eletrônico) foi considerado como referência, e os demais cenários (02 a 07) foram comparados a ele. A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada foi de 6% aa. Para todas as tabelas, a coluna 1 representa o período de vida útil do equipamento (ou sistema), em anos; a coluna 2 representa os custos evitados (aqui chamados de receitas) com o consumo de energia elétrica do chuveiro eletrônico; a coluna 3 representa os custos de aquisição, instalação, e operação (quando for o caso) dos sistemas em estudo; a coluna 4 representa a soma das duas colunas anteriores; a coluna 5 representa os valores da coluna anterior convertidos a valor presente; e a coluna 6 apresenta os valores acumulados da coluna anterior.

A tabela 8 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 2 - utilização somente de energia solar térmica (aquecedor solar).

Tabela 8: Cenário 2 - aquecedor solar

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-4819,50	-4694,32	-4694,32	-4694,32
1	1642,96	-100,00	1542,96	1455,63	-3238,69
2	1642,96	-100,00	1542,96	1373,23	-1865,46
3	1768,14	-100,00	1668,14	1400,61	-464,85
4	1642,96	-100,00	1542,96	1222,17	757,32
5	1642,96	-100,00	1542,96	1152,99	1910,31
6	1768,14	-100,00	1668,14	1175,98	3086,29
7	1642,96	-100,00	1542,96	1026,16	4112,45
8	1642,96	-100,00	1542,96	968,08	5080,52
9	1768,14	-100,00	1668,14	987,37	6067,90
10	1642,96	-100,00	1542,96	861,58	6929,48
11	1642,96	-100,00	1542,96	812,81	7742,29
12	1768,14	-100,00	1668,14	829,02	8571,31
13	1642,96	-100,00	1542,96	723,40	9294,71
14	1642,96	-100,00	1542,96	682,45	9977,17
15	1768,14	-100,00	1668,14	696,06	10673,23
16	1642,96	-100,00	1542,96	607,38	11280,61
17	1642,96	-100,00	1542,96	573,00	11853,61
18	1768,14	-100,00	1668,14	584,42	12438,03
19	1642,96	-100,00	1542,96	509,97	12948,00
20	1642,96	-100,00	1542,96	481,10	13429,11

O cenário 2 (aquecimento solar) apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 4 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). A partir dos dados apresentados na tabela 8, e com auxílio do excel, foram calculados os índices econômicos apresentados a seguir: O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 1.170,81 e a TIR foi de 33,41%,

indicando que o investimento em aquecimento solar é viável (VAUE maior que zero e TIR maior que a TMA).

A tabela 9 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 3 - utilização somente de energia solar fotovoltaica (placas fotovoltaicas).

Tabela 9: Cenário 03 - placas fotovoltaicas

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-9276,11	-9150,93	-9150,93	-9150,93
1	1642,96		1642,96	1549,97	-7600,96
2	1642,96		1642,96	1462,23	-6138,73
3	1768,14		1768,14	1484,57	-4654,16
4	1642,96		1642,96	1301,38	-3352,78
5	1642,96		1642,96	1227,72	-2125,06
6	1768,14		1768,14	1246,47	-878,59
7	1642,96		1642,96	1092,67	214,08
8	1642,96		1642,96	1030,82	1244,89
9	1768,14		1768,14	1046,56	2291,45
10	1642,96	-2978,51	-1335,55	-745,76	1545,69
11	1642,96		1642,96	865,49	2411,19
12	1768,14		1768,14	878,71	3289,90
13	1642,96		1642,96	770,29	4060,19
14	1642,96		1642,96	726,68	4786,87
15	1768,14		1768,14	737,78	5524,66
16	1642,96		1642,96	646,75	6171,40
17	1642,96		1642,96	610,14	6781,54
18	1768,14		1768,14	619,46	7401,00
19	1642,96		1642,96	543,02	7944,02
20	1642,96	-2978,51	-1335,55	-416,43	7527,59
21	1768,14		1768,14	520,11	8047,70
22	1642,96		1642,96	455,93	8503,63
23	1642,96		1642,96	430,12	8933,76
24	1768,14		1768,14	436,69	9370,45
25	1642,96		1642,96	382,81	9753,26

O cenário 3 apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 7 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 762,97 e a TIR foi de 16,52%.

A tabela 10 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 4 - utilização somente de GLP (aquecedor a gás).

Tabela 10: Cenário 04 - aquecedor a gás (GLP)

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-2616,95	-2491,77	-2491,77	-2491,77
1	1642,96	-1052,84	590,12	556,72	-1935,05
2	1642,96	-1052,84	590,12	525,21	-1409,84
3	1768,14	-1052,84	715,30	600,58	-809,25
4	1642,96	-1252,84	390,12	309,02	-500,24
5	1642,96	-1252,84	390,12	291,52	-208,71
6	1768,14	-1252,84	515,30	363,27	154,56
7	1642,96	-1252,84	390,12	259,46	414,01
8	1642,96	-1252,84	390,12	244,77	658,78
9	1768,14	-1252,84	515,30	305,01	963,79
10	1642,96	-1252,84	390,12	217,84	1181,63

Como o aquecedor a gás tem 3 anos de garantia, considerou-se o custo de manutenção anual (R\$200,00) somente a partir do 4º ano.

O cenário 4 (aquecimento com aquecedor de passagem com GLP) apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 6 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 160,55 e a TIR foi de 16,09%, indicando que o investimento em aquecimento solar é viável.

A tabela 11 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 5 - utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de energia elétrica.

Tabela 11: Cenário 05 - aquecedor solar + aquecedor elétrico

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-4950,94	-4825,76	-4825,76	-4825,76
1	1642,96	-100,00	1542,96	1455,63	-3370,13
2	1642,96	-100,00	1542,96	1373,23	-1996,90
3	1768,14	-225,18	1542,96	1295,50	-701,40
4	1642,96	-100,00	1542,96	1222,17	520,78
5	1642,96	-100,00	1542,96	1152,99	1673,77
6	1768,14	-225,18	1542,96	1087,73	2761,50
7	1642,96	-100,00	1542,96	1026,16	3787,66
8	1642,96	-100,00	1542,96	968,08	4755,73
9	1768,14	-225,18	1542,96	913,28	5669,01
10	1642,96	-100,00	1542,96	861,58	6530,60
11	1642,96	-100,00	1542,96	812,81	7343,41
12	1768,14	-225,18	1542,96	766,81	8110,22
13	1642,96	-100,00	1542,96	723,40	8833,62
14	1642,96	-100,00	1542,96	682,45	9516,07
15	1768,14	-225,18	1542,96	643,83	10159,90
16	1642,96	-100,00	1542,96	607,38	10767,28
17	1642,96	-100,00	1542,96	573,00	11340,28
18	1768,14	-225,18	1542,96	540,57	11880,85
19	1642,96	-100,00	1542,96	509,97	12390,82
20	1642,96	-100,00	1542,96	481,10	12871,92

O cenário 5 (aquecimento solar e energia elétrica como fonte auxiliar) apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 4 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 1.122,23 e a TIR foi de 31,85%, indicando que o investimento em aquecimento solar é viável.

A tabela 12 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 6 - utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte de energia solar fotovoltaica (painéis fotovoltaicos para alimentar a resistência elétrica de aquecimento).

Tabela 12: Cenário 6 - aquecedor solar + placas fotovoltaicas

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-7255,46	-7130,28	-7130,28	-7130,28
1	1642,96	-100,00	1542,96	1455,63	-5674,65
2	1642,96	-100,00	1542,96	1373,23	-4301,42
3	1768,14	-100,00	1668,14	1400,61	-2900,81
4	1642,96	-100,00	1542,96	1222,17	-1678,64
5	1642,96	-100,00	1542,96	1152,99	-525,65
6	1768,14	-100,00	1668,14	1175,98	650,33
7	1642,96	-100,00	1542,96	1026,16	1676,49
8	1642,96	-100,00	1542,96	968,08	2644,56
9	1768,14	-100,00	1668,14	987,37	3631,94
10	1642,96	-1189,96	453,00	252,96	3884,89
11	1642,96	-100,00	1542,96	812,81	4697,71
12	1768,14	-100,00	1668,14	829,02	5526,72
13	1642,96	-100,00	1542,96	723,40	6250,13
14	1642,96	-100,00	1542,96	682,45	6932,58
15	1768,14	-100,00	1668,14	696,06	7628,64
16	1642,96	-100,00	1542,96	607,38	8236,02
17	1642,96	-100,00	1542,96	573,00	8809,02
18	1768,14	-100,00	1668,14	584,42	9393,45
19	1642,96	-100,00	1542,96	509,97	9903,42
20	1642,96	-100,00	1542,96	481,10	10384,52

O cenário 6 (aquecimento solar com placas fotovoltaicas de sistema auxiliar) apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 6 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 905,37 e a TIR foi de 21,16%, indicando que o investimento em aquecimento solar é viável.

A tabela 13 apresenta os fluxos de caixas referentes ao cenário 7 - utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementada, quando necessário, por uma fonte auxiliar de GLP (aquecedor a gás).

Tabela 13: Cenário 07 - aquecedor solar + aquecedor a gás (GLP)

Período	Receita	Custos	Saldo	Saldo Descontado	Saldo Descontado Acumulado
0	125,18	-7436,45	-7311,27	-7311,27	-7311,27
1	1642,96	-263,22	1379,74	1301,65	-6009,62
2	1642,96	-263,22	1379,74	1227,97	-4781,65
3	1642,96	-263,22	1379,74	1158,46	-3623,19
4	1642,96	-463,22	1179,74	934,47	-2688,72
5	1642,96	-463,22	1179,74	881,57	-1807,15
6	1642,96	-463,22	1179,74	831,67	-975,48
7	1642,96	-463,22	1179,74	784,60	-190,88
8	1642,96	-463,22	1179,74	740,19	549,31
9	1642,96	-463,22	1179,74	698,29	1247,60
10	1642,96	-2302,67	-659,70	-368,37	879,22
11	1642,96	-263,22	1379,74	726,83	1606,05
12	1642,96	-263,22	1379,74	685,69	2291,74
13	1642,96	-263,22	1379,74	646,88	2938,62
14	1642,96	-463,22	1179,74	521,80	3460,43
15	1642,96	-463,22	1179,74	492,27	3952,69
16	1642,96	-463,22	1179,74	464,40	4417,09
17	1642,96	-463,22	1179,74	438,12	4855,21
18	1642,96	-463,22	1179,74	413,32	5268,53
19	1642,96	-463,22	1179,74	389,92	5658,45
20	1642,96	-463,22	1179,74	367,85	6026,30

O cenário 7 (aquecimento solar, com aquecedor de passagem a gás (GLP) como aquecedor de auxiliar) apresentou um tempo de retorno do capital investido (payback descontado) de 9 anos (em comparação com o cenário 1- aquecimento elétrico). O valor anual uniforme equivalente (VAUE) foi de R\$ 525,40 e a TIR foi de 15,50%, indicando que o investimento em aquecimento solar é viável (VAUE maior que zero e TIR maior que a TMA).

4.7.1 Payback descontado, VAUE e TIR

Como os cenários possuem períodos distintos, não é possível comparar os VPL. Para isso, foi calculado (com auxílio do Microsoft Excel), VAUE - valor anual uniforme equivalente, essa ferramenta possibilita visualizar os valores de VPL distribuídos anualmente de maneira uniforme, permitindo a comparação entre projetos que possuem períodos distintos.

Tabela 14 : Cálculo do Payback, VPL, TIR e VAUE para os cenários 02 a 07.

	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06	Cenário 07
Payback	4 anos	7 anos	6 anos	4 anos	6 anos	8 anos
VPL (25 anos)	14966,89	9753,26	2052,32	14345,90	11573,67	6716,37
TIR	33,41%	16,52%	16,09%	31,85%	21,16%	15,50%
VAUE	1170,81	762,97	160,55	1122,23	905,37	525,40

Avaliando a tabela 14, pode-se verificar que o melhor cenário financeiramente é 2 (utilização somente de energia solar térmica), no entanto, tecnicamente ele não supre o fornecimento de energia nos meses de maio a agosto, inviabilizando este cenário.

Dessa maneira, o cenário com os melhores resultados é 5 (utilização de energia solar térmica como base (coletor solar), complementado quando necessário, por uma fonte auxiliar de energia elétrica com os melhores resultados).

O cenário que possui os resultados menos interessante é o cenário 4 (utilização somente de GLP (aquecedor a gás), com o VAUE de R\$160,55, ou seja, o menor retorno dos 7 cenários.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo fazer uma avaliação técnico-econômica de sistema de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas. Para tanto, foi dividido em cenários, os quais representaram sistemas de aquecimento. Por meio dos resultados obtidos concluiu-se:

Para o cenário 2, sistema de aquecimento solar, o qual substituiu o aquecimento elétrico, economicamente possui resultados viáveis, no entanto tecnicamente é inviável, uma vez que não consegue suprir o aquecimento de água nos meses mais frios dos anos, necessitando de aquecimento auxiliar.

O cenário 3 (sistema fotovoltaico) e o cenário 4 (aquecedor a gás) se mostraram econômica e tecnicamente viáveis com PBD, respectivamente, de 7 e 6 anos.

Os sistemas 5, 6 e 7 são cenários que possuem o sistema de aquecimento solar como base somado a um sistema auxiliar. Economicamente esses 3 últimos cenários se mostraram viáveis.

Considerando as análises, o aquecedor solar com fonte auxiliar de energia elétrica (cenário 5) é a opção mais viável economicamente, com PBD de 4 anos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 15526: **Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais – Projeto e execução.** 2012.

ABNT – NBR 15569: **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação.** 2008.

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

ALFARO-AYALA, J. Arturo et al. Optimization of a solar collector with evacuated tubes using the simulated annealing and computational fluid dynamics. **Energy Conversion And Management**, Guanajuato, v. 166, p.343-355, 15 jun. 2018.

ANSARI, Mohammad; BAZARGAN, Majid. Optimization of flat plate solar air heaters with ribbed surfaces. **Elsevier: Applied Thermal Engineering**, Teerã, v. 136, p.356-363, 27 fev. 2018. Semanal.

AYOMPE, L.m. et al. Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. **Energy**, Dublin, v. 36, p.3370-3378, maio 2011.

AVRUTIN, V.; IZYUMSKAYA, N.; MORKOÇ, H.. Semiconductor solar cells: Recent progress in terrestrial applications. **Superlattices And Microstructures**, Richmond, v. 49, p.337-364, abr. 2011.

BARUFI, C. B. **Identificação de barreiras para a ampliação do uso de gases combustíveis para o aquecimento de água no setor residencial.** 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BEKELE, G.; PALM, B. Feasibility study for a standalone solar–wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia. **Applied Energy**, Stockholm, v. 87, p.487-495, fev. 2010.

BORGONOVO, E.; PECCATI, L. The importance of assumptions in investment evaluation. **International Journal Of Production Economics**, Milão, v. 101, p.298-311, jun. 2006.

BURDA, E.; BETINI, R. C; PEPFLOW, L. A. Uma Proposta para Intensificar a Participação de Componentes Renováveis na Matriz Energética. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

BRASILTEC. Como Funciona o Aquecedor a Gás. Disponível: <http://www.brasiltec.com.br/blog.php?d=2>. Acesso em agosto de 2017.

BROM, L. G.; BALIAN, J. E. A. **Análise de Investimentos e Capital de Giro**: Conceitos E Aplicações. São Paulo: Saraiva, 2007.

CALZA, L. F. **Análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para suprir a demanda de água dos vestiários de um frigorífico localizado na Região Oeste do Paraná**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

CRESESB – CEPEL. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=291. Acesso em Agosto de 2017.

CRESESB – CEPEL. Radiação Solar. Disponível: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301. Acesso em Agosto de 2017.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>. Acesso em Jul, 2018.

CHAGURI, J. J. Sistemas Prediais de Aquecimento de Água a Gás: Parâmetros de Direcionamento e Gerenciamento. 2009. 104 páginas. Tese Dissertação – Universidade de São Paulo. 2009.

CHAPIN, D. M.; FULLER, C. S.; PEARSON, G. L.. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. **Journal Of Applied Physics**, [s.l.], v. 25, n. 5, p.676-677, maio 1954. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1721711>.

COELHO, D. M. **Identificação de variáveis críticas e simulação do uso de coletores solares em prédios residenciais**. Dissertação de Mestrado. UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. 113p.

CYRS, W. D. et al. Landfill waste and recycling: Use of a screening-level risk assessment tool for end-of-life cadmium telluride (CdTe) thin-film photovoltaic (PV) panels. **Energy Policy**, San Francisco, v. 68, p.524-533, maio 2014.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Cascavel**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/5965/>>. Acesso em 26 de agosto de 2018.

FUDHOLI, A. et al. Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors. **Energy Conversion And Management**, Kuala Lumpur, v. 78, p.641-651, fev. 2014.

FORUMCLIMA. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manualiniciais.pdf>>. Acesso em 01 de agosto de 2018.

GAO, Y. et al. Thermal performance and parameter analysis of a U-pipe evacuated solar tube collector. **Solar Energy**, Beijing, v. 107, p.714-727, set. 2014

GOETZBERGER, A.; HEBLING, C.; SCHOCK, H. Photovoltaic materials, history, status and outlook. **Materials Science And Engineering: R: Reports**, Freiburg, v. 40, p.01-46, jan. 2003.

GUARRACINO, I. et al. Dynamic coupled thermal-and-electrical modelling of sheet-and-tube hybrid photovoltaic/thermal (PVT) collectors. **Applied Thermal Engineering**, Londres, v. 101, p.778-795, 25 maio 2016.

GUTTERRES, L. M. **Controle de aquecedores de passagem a gás com chama modulante**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HOJI, M. **Administração Financeira e Orçamentária: Matemática financeira aplicada, estratégias financeiras e orçamento empresarial**. 10. ed. São Paulo: Atlas S.a., 2012.

HOSSAIN, M.s. et al. Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, v. 15, p.3801-3812, out. 2011.

HOSENUZZAMAN, M. et al. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, v. 41, p.284-297, jan. 2015.

IBRAHIM, A. et al. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Bangi, v. 15, p.352-365, jan. 2011.

IBGE. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em Agosto de 2017.

JI, J. et al. A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation. **Applied Energy**, China, v. 84, p.222-237, fev. 2007. Disponível em: <<https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.apenergy.2006.04.009>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

JNT ENERGIA SOLAR. Como funciona a geração de energia. Disponível em: <<http://www.jntenergiasolar.com.br/home.html>>. Acesso em: julho de 2018.

JOHNSON, G.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I. The calibration and validation of a model for predicting the performance of gas-fired tankless water heaters in domestic hot water applications. **Applied Energy**, Ottawa, v. 177, p.740-750, 01 set. 2016.

JOWZI, M.; VEYSI, F.; SADEGHI, G. Novel experimental approaches to investigate distribution of solar insolation around the tubes in evacuated tube solar collectors. **Renewable Energy**, v. 127, p.724-732, nov. 2018

KALOGIROU, Soteris A.. Solar thermal collectors and applications. **Progress In Energy And Combustion Science**, Nicosia, v. 30, p.231-295, fev. 2004.

KALOGIROU, S. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. **Solar Energy**, Lemesos, v. 83, p.39-48, jan. 2009.

KALOGIROU, S.A.; TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. **Energy Conversion And Management**, Patras, v. 47, p.3368-3382, nov. 2006.

LAFAY, J. S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás.** 2005. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/59111>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

LIANG, R. et al. Theoretical and experimental investigation of the filled-type evacuated tube solar collector with U tube. **Solar Energy**, Dalian, v. 85, n. 9, p.1735-1744, set. 2011. Disponível em: <<https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.solener.2011.04.012>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

MANEA, T. F. **Avaliação numérica e experimental da convecção natural em coletor solar de tubos evacuados.** 2016. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Cap. 10.

MANEA, T. F. **Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de coletores solares de tubos de vidro a vácuo.** Porto Alegre, UFRGS. 75p. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

MARCHIONI, A.; MAGNI, C. A. Investment decisions and sensitivity analysis: NPV-consistency of rates of return. **European Journal Of Operational Research**, Modena, v. 268, p.361-372, jul. 2018.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G.; FUENTES-SILVA, A. L.; PICÓN-NÓÑEZ, M. Solar thermal networks operating with evacuated-tube collectors. **Energy**, Guanajuato, p.26-33, 01 mar. 2018

MAZARRÓN, F. R. et al. Feasibility of active solar water heating systems with evacuated tube collector at different operational water temperatures. **Energy Conversion And Management**, Madrid, v. 113, p.16-26, 01 abr. 2016. Disponível em: <<https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.enconman.2016.01.046>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

MILES, R.w.; HYNES, K.m.; FORBES, I.. Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues. **Progress In Crystal Growth And Characterization Of Materials**, Newcastle Upon Tyne, v. 51, p.1-42, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2017). Energia Solar no Brasil e Mundo. Disponível: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17++Energia+Solar++>>

+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907dd9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>. Acesso em; 11 de Junho de 2018.

MOSTAFAEIPOUR, Ali et al. Investigating the factors on using the solar water heaters for dry arid regions: A case study. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Yazd, v. 78, p.157-166, out. 2017.

NAIK, B. K. et al. Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube Solar Collector Using Different Working Fluids. **Energy Procedia**, Guwahati, v. 90, p.227-237, dez. 2016.

NEW HOME. Disponível em: <http://www.newhome.com.br/htmls/ekohome/Solar/T%C3%A9rmico/ColetorPlano.htm>. Acesso em 22 de abril de 2018.

OZSOY, A.; CORUMLU, V. Thermal performance of a thermosyphon heat pipe evacuated tube solar collector using silver-water nanofluid for commercial applications. **Renewable Energy**, Isparta, v. 122, p.26-34, jul. 2018.

PASSOS, L.; CARDEMIL, J. M.; COLLE, S. Feasibility Study of Using Domestic Solar Hot Water Systems as Alternative to Reduce the Electricity Peak Demand in Brazil. **Energy Procedia**, Florianópolis, v. 57, p.2487-2495, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, Marco A. Cepel - Cresesb (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 530 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G.; ROSA, C. F.; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A.; LIMA, I. A.; LIMA, J. D.; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. **Gestão Financeira: Enfoque em Inovação**. Curitiba: Aymará Educação, 2012.

ROSA, F. N. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil**. 2012. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/62073>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SABIHA, M.a. et al. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Kuala Lumpur, v. 51, p.1038-1054, nov. 2015.

SAE-JUNG, P. et al. An Experimental Study of Thermo-Syphon Solar W. **Energy Procedia**, Thailand, v. 79, p.442-447, nov. 2015.

SAMPAIO, P. G. V. et al. Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Rio Grande do Norte, v. 93, p.215-224, out. 2018.

SARAIVA, J. C. **Custo das Opções para aquecimento de água na habitação de interesse social em São Paulo - CDHU**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/producao/2012/Teses/Mestrado/Saraiva/AQC/agua-Rev. 00 para capa dura 04062012 PDF.pdf](http://www.iee.usp.br/producao/2012/Teses/Mestrado/Saraiva/AQC/agua-Rev.00%20para%20capa%20dura%2004062012%20PDF.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2018.

SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. A. C. (Organizadores). **FONTES RENOVÁVEIS: AGROENERGIA**. Volume 1. Cascavel: Unioeste, 2012

SELLAMI, R. et al. Market potential and development prospects of the solar water heater field in Algeria. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Tipaza, v. 65, p.617-625, nov. 2016. Disponível em: <<https://doi-org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.rser.2016.07.043>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

SHARAFELDIN, M.a.; GRÓF, Gyula. Evacuated tube solar collector performance using CeO₂/water nanofluid. **Journal Of Cleaner Production**, Budapest, v. 185, p.347-356, 01 jun. 2018.

SHI, G. et al. Dynamic simulation of liquefied petroleum gas vaporisation for burners. **Applied Thermal Engineering**, Baoding, v. 137, p.575-583, 05 jun. 2018.

SINDIGÁS. Manual Eficiência Energética em Edificações. Disponível: [http://www.sindigas.org.br/Download/Arquivo/2%20Sindig%C3%A1s%20-%20Gas%20LP%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20-%20Workshop%202014_Parte%20_Sist%20-%20Aquecimento%20de%20%C3%81gua_Jorge_r4%20\(2\)_635465713521606774.pdf](http://www.sindigas.org.br/Download/Arquivo/2%20Sindig%C3%A1s%20-%20Gas%20LP%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20-%20Workshop%202014_Parte%20_Sist%20-%20Aquecimento%20de%20%C3%81gua_Jorge_r4%20(2)_635465713521606774.pdf). Acesso em Agosto de 2017.

SINIGAGLIA, T. et al. Dimensionamento da produção energética de um coletor solar plano para aquecimento de água. **Revista Gestão Inovação e Tecnologias**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.3487-3498, 18 dez. 2016. Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual. <http://dx.doi.org/10.7198/s2237-072220160004004>.

SOLETROL. Como Funciona o Aquecedor Solar de Água Soletrol. Disponível: <http://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>. Acesso em Agosto de 2017.

TOLMASQUIM, M. T. (organizador). **FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BRASIL**. Rio de Janeiro: Iterciencia, 2003.

TOMÉ, M. C. **Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TRIKI-LAHIANI, A.; ABDELGHANI, A. B.; SLAMA-BELKHODJA, I. Fault detection and monitoring systems for photovoltaic installations: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Tunis, v. 83, p.2680-2692, fev. 2018.

TYAGI, V.v. et al. Progress in solar PV technology: Research and achievement. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Haryana, v. 20, p.443-461, abr. 2013.

VIJAY, D. et al. Solar energy: Trends and enabling technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Toledo, v. 19, p.555-564, mar. 2013.

ZAMBOLIN, E.; COL, D. del. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. **Solar Energy**, Padova, v. 84, p.1382-1396, ago. 2010.

ZAKARIA, Z. et al. Ultrasonic instrumentation system for Liquefied Petroleum Gas level monitoring. **Journal Of Natural Gas Science And Engineering**, Malaysia, v. 45, p.428-435, set. 2017.

ZHANG, Q. et al. Synthesis of LPG from synthesis gas. **Fuel Processing Technology**, Kitakyushu, v. 85, p.1139-1150, 15 jul. 2004.

ZHU, T. et al. Experimental investigation and performance evaluation of a vacuum tube solar air collector based on micro heat pipe arrays. **Journal Of Cleaner Production**, Beijing, v. 142, p.3517-3526, 20 jan. 2017.

ZOELLNER, K. **A incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo - Ipt, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2005_HAB_Klaus_Zoellner.pdf>. Acesso em: 21 maio 2018.

ANEXOS

ANEXO A: Características técnicas chuveiro eletrônico

Características Técnicas	
Pressão de Funcionamento	10 a 400kPa(1 a 40mca ^{***})
Grau de Proteção	IP 24
Sistema de Aterramento	Sim
Comando Multitemperaturas	Sim
Compatível com "DR" *	Sim
Mangueira com Ducha Manual	Sim
Instalação Sem Cano	Sim
Compatível com Aquecimento Solar	Sim
Garantia	1 ano

Características Elétricas			
Tensão (Volts)	Potência (Watts)	Fios(mm²)**	Disjuntor(A)
127	5500	10	50
220	6400	4	30
220	7500	6	40

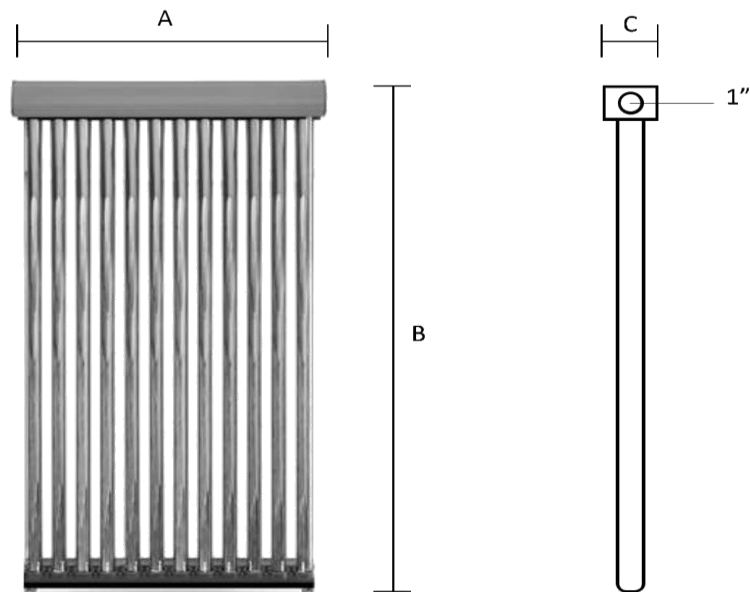
* Dispositivo Diferencial Residual.

** Para distância acima de 30m, utilizar condutores de seção maior.

***mca: metro de coluna de água.

ANEXO B: SAS (coletor solar e boiler)

3. FICHA TÉCNICA



Ficha Técnica dos Coletores Solares Komeco				
Modelo		KOCS TV 15BP G2	KOCS TV 20BP G2	KOCS TV 30BP G2
Dimensões (mm)	A	1195	1574	2325
	B	1900	1900	2000
	C	170	170	170
Diâmetro/comprimento dos tubos (mm)		Ø58 x 1800	Ø58 x 1800	Ø58 x 1800
Conexões (pol)		Rosca externa 1"	Rosca externa 1"	Rosca externa 1"
Pressão de trabalho (m.c.a)		Máx. 5,0	Máx. 5,0	Máx. 5,0
Massa (Peso)		Kg (N)	Kg (N)	Kg (N)
		45,2(443,3)	60,5(593,3)	89,0(872,8)

**Importante!**

O coletor solar somente deve ser instalado quando o fornecimento de água estiver disponível no local da instalação. O coletor solar não pode ficar exposto ao sol sem que haja a circulação de água no seu interior, sob risco de dano irreparável.

2. FICHA TÉCNICA

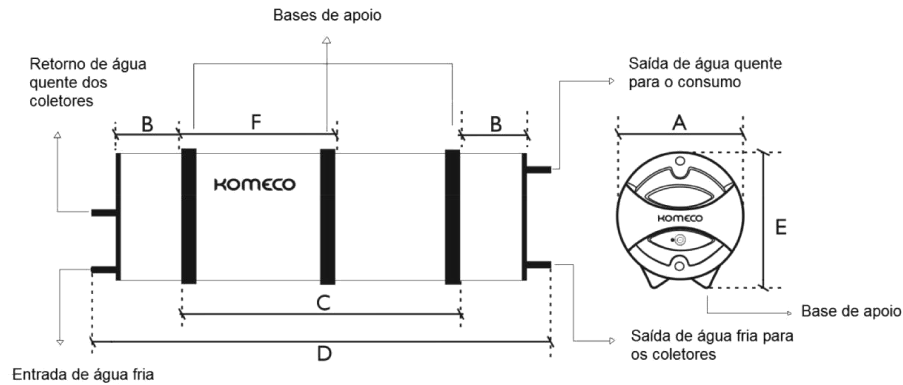


Figura 17

Ficha Técnica dos Reservatórios Térmicos Komeco											
Modelo		BP 200 POPULAR Ø55	BP 200 POPULAR Ø70	20AP/BP	30AP/BP	40AP/BP	50AP/BP	60AP/BP	80AP/BP	100AP/BP	
Dimensões (mm)	A	BP	550	700	700	700	700	700	700	880	880
		AP	*NC	*NC	700	700	700	700	700	880	880
	B	BP	165	150	150	265	380	350	350	350	285
		AP	*NC	*NC	150	265	365	350	350	350	285
	C	BP	640	460	460	540	620	1000	1300	920	1350
		AP	*NC	*NC	450	550	695	1040	1370	920	1350
	D	BP	1215	985	985	1285	1595	1915	2220	1870	2265
		AP	*NC	*NC	955	1285	1620	1945	2275	1870	2265
	E	BP	580	735	735	735	735	735	735	915	915
		AP	*NC	*NC	735	735	735	735	735	915	915
	F	BP	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	615/685
		AP	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	*NC	615/685
Diâmetro da saída e retorno para coletores (pol)		3/4"	3/4"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	
Diâmetro entrada e saída de água (pol)		3/4"	3/4"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1.1/4"	
Resistência Elétrica	Tensão (V)	*NC	*NC	127/220	127/220	127/220	127/220	127/220	127/220	220/380	
	Potência (W)	*NC	*NC	3000	3000	3000	3000	3000	3000	6000	
	Corrente (A)	*NC	*NC	23,6/13,6	23,6/13,6	23,6/13,6	23,6/13,6	23,6/13,6	23,6/13,6	15,7/9,1	
Pressão de Trabalho		kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	kPa(m.c.a.)	
Baixa Pressão		49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	49,03 (5)	
Alta Pressão		*NC	*NC	392,27(40)	392,27(40)	392,27(40)	392,27(40)	392,27(40)	392,27(40)	392,27(40)	
Massa (Peso*)		Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	Kg(N)	
Baixa Pressão (Vazio)		22(216,26)	23(226,09)	25(245,75)	31(304,00)	36(353,03)	43(421,68)	48(470,71)	66(647,23)	75(735,49)	
Alta Pressão (Vazio)		*NC	*NC	36(353,03)	46(451,10)	55(539,36)	66(647,23)	76(745,30)	128(1255,23)	149(1461,17)	

* Podem ocorrer mudanças nos produtos sem o aviso prévio do fabricante.

* NC = Não Consta.

ANEXO C – Características técnicas placas fotovoltaicas



MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

A alta qualidade e confiabilidade dos módulos Canadian Solar está assegurada com sua experiência de 15 anos no mercado, oferecendo módulos bem projetados, com um rigoroso control de qualidade dos materiais e um sistema de fabricação automatizado, além de serem 100% testados no método EL.

25
anos
de garantia de potência de saída linear

10
anos
de garantia do produto em materiais e mão de obra

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS



Excelente eficiência do módulo de até 16.97 %



Excepcional desempenho em baixa irradiação: 96 %



Alto desempenho em condições PTC de até 92.15 %



Caixa de Junção IP67, resistência de longo prazo ao clima



Carga de neve até 5400 Pa e carga de vento até 2400 Pa

CERTIFICADOS DO SISTEMA DE GESTÃO*

ISO 9001:2008 / Sistema de gestão de qualidade
ISO 14001:2004 / Sistemas de gestão ambiental
OHSAS 18001:2007 / Norma Internacional para segurança e saúde ocupacional

CERTIFICADOS DO PRODUTO*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO / CEC AU
UL 1703 / IEC 61215 desempenho: listado na CEC (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
IEC 60068-2-68: SGS

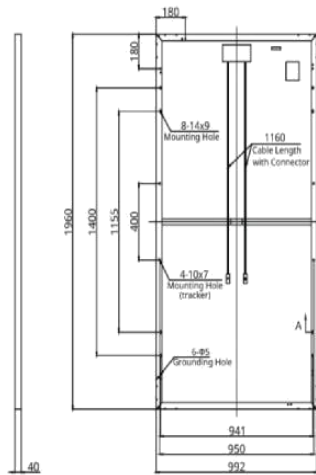


* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite ao seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

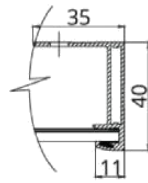
CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo mundo. Fabricante líder de módulos solares e desenvolvedora de projetos fotovoltaicos, com mais de 20 GW em módulos da mais alta qualidade instalados em todo o mundo desde 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

MÓDULO / DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)

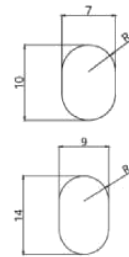
Vista Traseira



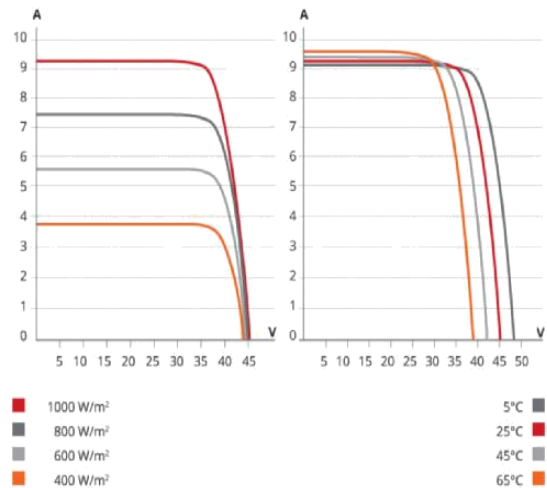
Seção marco A-A



Furo de montagem



CS6U-320P / CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Tensão circuito aberto (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Corrente curto-circuito (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Eficiência do módulo	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C			
Tensão do sistema máx.	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)			
Proteção contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Class. máx. fusíveis em série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiação de 1000 W/m², espectro AM de 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS ELÉTRICOS | NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmax)	231 W	235 W	239 W	242 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	33.7 V	33.9 V	34.0 V	34.2 V
Corrente operacional opt. (Imp)	6.87 A	6.94 A	7.01 A	7.08 A
Tensão circuito aberto (Voc)	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.5 V
Corrente curto-circuito (Isc)	7.41 A	7.48 A	7.54 A	7.63 A

* Sob Temperatura Operacional Nomida Célula (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, média de eficiência relativa de 96.0 % a partir de uma irradiação de 1000 W/m² a 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-las. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo célula	Policristalina, 6 polegadas
Configuração cél.	72 (6×12)
Dimensões	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Peso	22.4 kg (49.4 lbs)
Vidro dianteiro	Vidro temperado de 3.2 mm
Material do marco	Alumínio anodizado
J-Box	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm ² (IEC) ou 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Conectores	T4 series ou PV2 series
Por Pallet	26 peças, 635 kg (1400 lbs)
Por Container (40' HQ)	624 peças

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C
Temp. operacional nominal da célula	43±2 °C

SEÇÃO DO PARCEIRO



ANEXO D – Dados técnicos do inversor



INVERSOR DE STRING MONOFÁSICO CSI-1.5K-TL | CSI-3K-TL

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

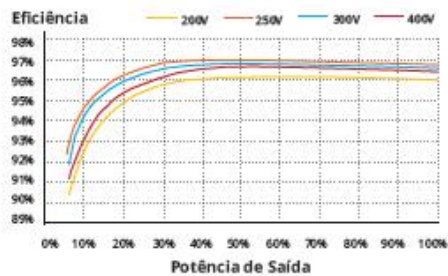
- Máx. Eficiência 97%, Ampla faixa de tensão de entrada
- Chave CC integrada
- Topologia sem transformador
- Design compacto
- Conexão flexível de comunicação:
Suporta RF, WiFi, Ethernet
- Controle de ruído



Garantia padrão, extensão até 10 anos

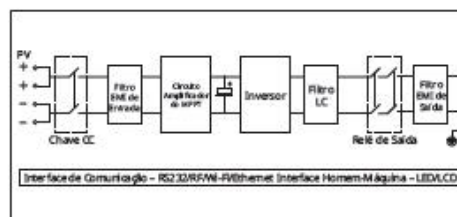
CURVA DE EFICIÊNCIA

CSI-1.5K-TL@220 Vac



TOPOLOGIA DO INVERSOR

CSI-1.5K-TL and CSI-3K-TL



CANADIAN SOLAR (USA), INC. comprometida em fornecer produtos, serviços e soluções em sistemas solares para clientes de todo o mundo. Líder no desenvolvimento de projetos de sistemas PV e na fabricação de módulos solares, com mais de 26 GW implantados em todo o mundo, desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas solares mundiais de maior reputação.

*Para informações detalhadas, consulte o Manual de Instalação.

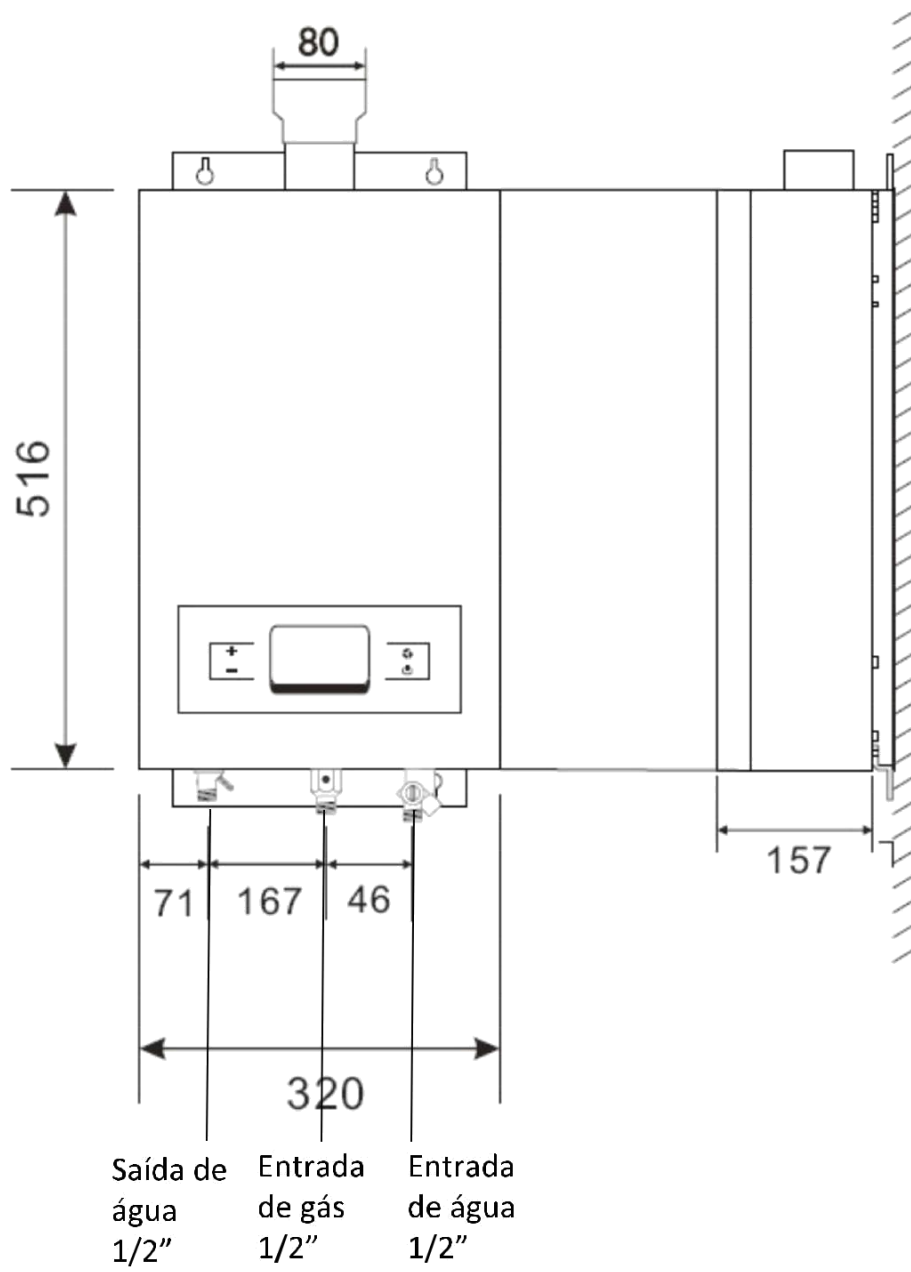
CANADIAN SOLAR (USA), INC.

3000 Oak Road, Suite 400, Walnut Creek, CA 94597, USA | www.canadiansolar.com/na | sales.us@canadiansolar.com

DADOS TÉCNICOS		
NOME DO MODELO	CSI-1.5K-TL	CSI-3K-TL
ENTRADA CC		
Máx. Potência PV recomendada (STC)	1900 W	3400 W
Máx. Tensão de Entrada CC	450 V	550 V
Tensão de Partida	80 V	
Faixa de Tensão CC	70 - 450 V	70 - 550 V
Faixa de Tensão de Trabalho / Tensão Nominal do MPPT	70 - 450 V / 250 V	70 - 550 V / 360 V
Faixa de Tensão CC em carga Plena	175 - 400 V	250 - 500 V
Máx. Corrente de Entrada	10 A	13 A
Máx. Corrente de Entrada por String	10 A	13 A
Número de MPPTs / Strings por MPPT	1 / 1	
SAÍDA CA		
Potência Nominal de Saída CA	1600 W	3000 W
Potência Nominal de Saída CA	1600 W	3000 W
Máx. Corrente de Saída	7,8 A	14,3 A
Tensão Nominal CA; Faixa	220, 230, 240 Vca; 180 - 280 Vca	
Frequência CA da rede; Faixa	50, 60 Hz; ±5 Hz	
Fator de Potência	1	
THDI	<3 %	
Conexão CA	Monofásica	
EFICIÊNCIA		
Máx. Eficiência	97 %	
Eficiência CEC	96,5 %	
Eficiência MPPT	99,5 %	
PROTEÇÃO		
Proteção contra Inversão de Polaridade CC	Sim	
Valor Nominal da Chave CC para cada MPPT	Opcional	
Proteção contra Sobrecorrente de Saída	Sim	
Proteção-Varistor contra Sobretensão de Saída	Sim	
Monitoramento de Falha de Terra	Sim	
Monitoramento de rede	Sim	
Unidade de Monitoramento de Corrente de Fuga Sensível em Todos os Polos	Sim	
DADOS GERAIS		
Dimensões (L / A / P)	271 x 267 x 142 mm	271 x 320 x 142 mm
Peso	6,1 kg	8,8 kg
Faixa de Temperaturas de Operação	-25°C ~ +60°C, com redução acima de 45°C	
Emissão de Ruído (Típica)	≤25 dBA	
Altitude	2000 m, sem redução	
Autoconsumo Noturno	<0,5 W	
Topologia	Sem Transformador	
Conceito de Resfriamento	Natural	
Grau de Proteção Ambiental	IP65	
Umidade Relativa	100%	
CARACTERÍSTICAS		
Conexão CC	M4	
Conexão CA	Conector	
Mostrador	LCD	
Interfaces: RS232 / RF / Wi-Fi / Ethernet	Sim / Opcional / Opcional / Opcional	
Garantia: 5 anos / 10 anos	Sim / Opcional	
CERTIFICADOS E APROVAÇÕES		
CE; VDE 0126-1-1; IEC 62109; GB3; AS4777; AS/NZS 3100; INMETRO		

A especificação e as principais características, descritas nesta ficha de dados podem divergir ligeiramente e não são garantidas. Devido à inovação, pesquisas e à melhoria contínua dos produtos, a Canadian Solar Inc. se reserva o direito de fazer ajustes nas informações descritas aqui, a qualquer tempo, sem aviso. Assegure-se, sempre, de obter a versão mais recente da ficha de dados que deve ser devidamente incorporada ao contrato celebrado entre as partes, para governar todas as transações relativas à compra e venda dos produtos descritos neste documento.

Cuidado: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de equipamento PV requer competência profissional e deve ser efetuada apenas por pessoas qualificadas. Por favor, leia as instruções de instalação e segurança, antes de usar o produto.

ANEXO E – Dimensão e dados técnicos do aquecedor a gás

1. CARACTERÍSTICAS DO AQUECEDOR

1.2 FICHA TÉCNICA

TIPO DE GÁS	GLP	GN
Vazão de água com acréscimo de 20º (L/min)	15	15
Classificação INMETRO	A	A
Rendimento	84%	84%
Potência nominal nas condições padrão	21.700kcal/h (25,2kW) 361kcal/min	21.700kcal/h (25,2kW) 361kcal/min
Consumo máximo de gás	1,83kg/h	2,28m³/h
Pressão de gás - dinâmico (mm.c.a.)	280	200
Tipo de Ignição	Automática	
Pressão de água (m.c.a.) mínima	1	
Pressão de água (m.c.a.) ideal de trabalho	>10	
Pressão de água (m.c.a.) máxima	80	
Vazão mín. para acendimento (l/min)	3,3	
Tempo máximo de acendimento(s)	2	
Diâmetro da chaminé (mm)	80	
Dimensões LxAxP (cm)	32x51,6x15,7	
Peso (kg)	10,40	
Entrada de água (pol)	½ (direita)	
Saída de água quente (pol)	½ (esquerda)	
Alimentação do gás (pol)	½ (centro)	
Potência elétrica consumida em regime máx.	48 Wh	
Comprimento Máximo da Chaminé	3m + 2 curvas	
Altura Máxima do primeiro trecho da chaminé (antes da curva)	1m	
Alimentação de energia	127/220V (60Hz)	
Local da placa para identificação	LATERAL	

Conversão de unidades

1 m.c.a. = 10 kPa

1 kPa = 100mm.c.a.

1 kW = 860kcal

10 m.c.a. = 1kgf/cm²

*Vazão obtida no misturador

**mm.c.a. = milímetros por coluna de água

***m.c.a. = metros por coluna de água

ANEXO F – Dados técnicos inversor para sistema fotovoltaico complementar

Modelo	MI-250	MI-500
Input data(DC)		
Advise components on STC power range [W]	200-310	200-3100/200-350
MPPT voltage range[V]	27-48	27-48/32-48
Operating voltage range[V]	16-60	16-60
maximum input voltage [V]	60	60
maximum input current [A]	10.5	10.5
Output Data(AC)		
Rated output power[W]	250	500/600
Rated output current [A]	1.09 (230V) 1.04 (240V) 1.20 (208V)	2.17/2.61(230V)2.08/2.50(240V)2.40/2.88(208V)
Nominal output voltage/range[V]	230/200-270	240/211-264 208/183-229
Nominal frequency/range[Hz]	50/45-55	60/57-62.5
Power factor		>0.99
Output current harmonic distortion		<3%
Maximum Units per 20A Branch	14(230V) 15(240V) 13(208V)	7/6(230V) 7/6(240V) 6/5(208V)
Efficiency		
Peak inverter efficiency		98.7%
CEC weighted efficiency		98.5%
Nominal MPPT efficiency		99.8%
Mechanical Data		
Ambient temperature range[°C]		-40 - +65
Operating temperature range[°C]		-40 - +85
Dimensions (LxWxH) [mm]	183*164*28	250*180*28
Weight [kg]	1.98	3.08
Enclosure rating		IP67 / NEMA6
cooling		Natural
Communication		Warranty