



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

ENERGIA SOLAR DESTINADA AO AQUECIMENTO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE FONTES RENOVÁVEIS PARA RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES

**Maiara Gomes Montaute, Fundação Hermínio Ometto,
maiara.montaute@fho.edu.br**

**Cristiane de Moraes Gomes, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp,
c251398@g.unicamp.br**

ARTIGO TÉCNICO-CIENTÍFICO

EIXO TEMÁTICO: ENERGIA, MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

RESUMO

O crescimento populacional, aliado ao adensamento urbano e à construção de baixo desempenho, tem demandado cada vez mais o uso significativo de energia elétrica em residências, o que impacta diretamente nos investimentos em matrizes elétricas renováveis. No entanto, os investimentos nesse setor não têm acompanhado o aumento da demanda, o que pode resultar novamente em uma possível crise energética. Como o setor residencial representa o segundo maior consumo de energia elétrica no Brasil, o objetivo desta pesquisa é identificar, descrever, comparar e apontar uma solução de autogeração residencial, focando na energia termossolar e na geração de energia elétrica - ambas destinadas ao aquecimento de água para fins de higienização pessoal. Nesse sentido, a elaboração deste estudo empregou abordagens teóricas descritivas, além da análise de um estudo de caso que conduziu à conclusão de que, de acordo com as atuais legislações, uma solução ambiental, social e economicamente sustentável consiste em um modelo associativo híbrido que combina o uso de chuveiros elétricos com placas geradoras fotovoltaicas. Esse modelo demonstra um tempo de retorno médio de investimento (payback) de 9,16 anos. Além disso, como perspectiva para futuras investigações, pretende-se estender essa análise comparativa a outros setores, visando identificar a fonte energética que oferece os maiores benefícios e contribuições para o desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento de água. Energia termossolar. Energia fotovoltaica. Energia híbrida.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo as divulgações do Relatório de Análise Energética e Dados Agregados (2021) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor residencial se destaca como segundo maior consumidor de energia elétrica, representando 26,4% do consumo total de energia disponibilizado no país em 2021. Igualmente, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por meio do Balanço de 2022, observou um crescimento contínuo de 1,50% entre os anos de 2021 e 2022, indicando o consumo de 67.275 MW e uma retomada do crescimento das atividades.

No cenário residencial brasileiro, conforme o Plano Decenal de Expansão de Energia, do Ministério de Minas e Energia (2014), os principais consumos energéticos abrangem eletricidade, gás liquefeito de petróleo (GLP) e lenha, notadamente destinados à cocção de alimentos e ao aquecimento da água para banho. O consumo de energia nesse setor é influenciado pelo aumento do número de domicílios, a utilização de eletrodomésticos, a potência desses dispositivos e os avanços na eficiência energética ao longo do tempo. Projeções indicam um aumento no número de domicílios com eletricidade, prevendo um aumento de 63 milhões em 2013 para aproximadamente 75 milhões até 2023.

Atualmente, os sistemas de aquecimento de água são eficientes e se dividem em diferentes categorias de acordo com o tipo de combustível utilizado, englobando eletricidade, gás, propano, energia solar ou a partir de óleo, gás, madeira ou carvão, de acordo com os Impactos da Qualidade da Água sobre Aquecimento de Água Residencial por Equipamento, PNNL-22921 (2013).

Ainda de acordo com a EPE (2021), as fontes energéticas renováveis dominam a oferta interna de eletricidade no Brasil, e representam 78,1% da energia total. Contudo, os investimentos e aprimoramentos nessas fontes energéticas não têm acompanhado o crescimento da demanda, necessitando de alternativas que possam expandir e garantir um fornecimento energético abrangente para todas as regiões do país.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Da mesma forma, Borges (2021) também aponta que a crise energética registrada em 2001 decorreu de um crescimento de 49% do consumo de energia elétrica entre 1990 e 2000, enquanto que a capacidade instalada aumentou apenas 35%. Essa disparidade foi acelerada por fatores climáticos e a falta de planejamento estratégico, mesmo cenário presenciado em 2021, potencializado pela dependência excessiva de usinas hidrelétricas, baixos índices pluviométricos, falta de investimentos em matrizes elétrica renováveis complementares e retomada do crescimento econômico.

A deficiência e as flutuações no abastecimento energético não apenas prejudicam o crescimento econômico, mas também contribuem diretamente para a diminuição da produtividade, taxas de desemprego, arrecadação tributária reduzida, além de restringir ou até negar acesso à energia para a população.

Atualmente, fontes de energia renovável geram 82,9% da demanda energética do país, sendo que as usinas hidroelétricas corresponderam ao abastecimento de 56,8% dessa demanda, de acordo com a CCEE (2020). No entanto, a diversificação das fontes se faz necessária, principalmente devido à disponibilidade limitada e à quantidade necessária de água para o funcionamento eficiente das hidrelétricas. Logo, fatores climáticos podem causar escassez, afetando toda a cadeia produtiva e de distribuição, o que justifica uma amplificação das matrizes renováveis.

De acordo com Montaute e Mareschachi (2020), toda e qualquer possibilidade de redução de consumo energético pode representar vantagem competitiva em decorrência da diminuição de custos individuais e demanda contratada, assim como na manutenção da infraestrutura de distribuição local existente.

Nesse contexto, a energia solar se apresenta como uma alternativa limpa, caracterizada por baixa geração de resíduos e permitindo aos usuários individuais, quando instalada nas residências, a redução do consumo da rede de distribuição, resultando em menor pagamento e menor dependência do recurso proveniente das concessionárias.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Assim, frente a esse panorama, este estudo visa realizar uma análise comparativa e avaliar a viabilidade técnico-financeira da implementação de sistemas de energia solar complementares em uma residência, para atender às necessidades de aquecimento de água de uma família de três pessoas. Serão comparadas a energia termossolar, proveniente de placas coletoras planas conectadas a um reservatório térmico isolado, conforme o padrão de uma família média brasileira segundo levantamento do Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos (2018). O mesmo modelo será sujeito a testes e análises quando abastecido por energia fotovoltaica. Por fim, será considerado um terceiro cenário no qual a demanda de calor para um chuveiro elétrico será suprida por placas geradoras fotovoltaicas, sem armazenamento de água quente.

Portanto, a partir da coleta e análise de dados, o objetivo deste estudo é identificar a fonte alternativa e renovável mais relevante em termos técnico-financeiros, sociais, ambientais e de sustentabilidade, visando promover construções residenciais de alto desempenho que incentivem o consumo consciente e a redução do consumo energético proveniente das concessionárias locais de energia.

METODOLOGIA

Este trabalho se dá a partir de uma abordagem descritiva-qualitativa iniciada com uma revisão de literatura a partir de publicações nacionais e internacionais dos últimos dez anos, disponibilizados em forma de livros, artigos científicos, teses e dissertações, disponíveis nas plataformas SciELO, Latindex, Spinger e Science Direct. A pesquisa prossegue com a implementação dos modelos propostos e análise dos resultados coletados.

Esta pesquisa trata da energia solar como fonte alternativa destinada ao aquecimento de água para residências unifamiliares, elaborando uma análise comparativa com o objetivo de identificar a matriz elétrica mais eficiente e sustentável. Para embasar essa análise, são considerados os estudos, principalmente, de Sangoi



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

(2015) e Borges (2021), que tratam da análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações.

Para o estudo de caso, foi realizado o monitoramento das temperaturas por meio de sensoriamento a fim de verificar o ganho de calor ao longo de um período de quatro dias nos sistemas que envolvem a acumulação de água. Nesse contexto, as temperaturas iniciais e finais da água foram definidas e parametrizadas como 16°C e 60°C, respectivamente, para os ensaios relacionados à acumulação de água quente. As medições de temperatura foram realizadas a cada duas horas, desde o nascer até o pôr-do-sol, no caso do sistema de aquecimento solar, e a cada 30 minutos para o sistema de aquecimento elétrico, visando à posterior análise dos dados.

DESENVOLVIMENTO

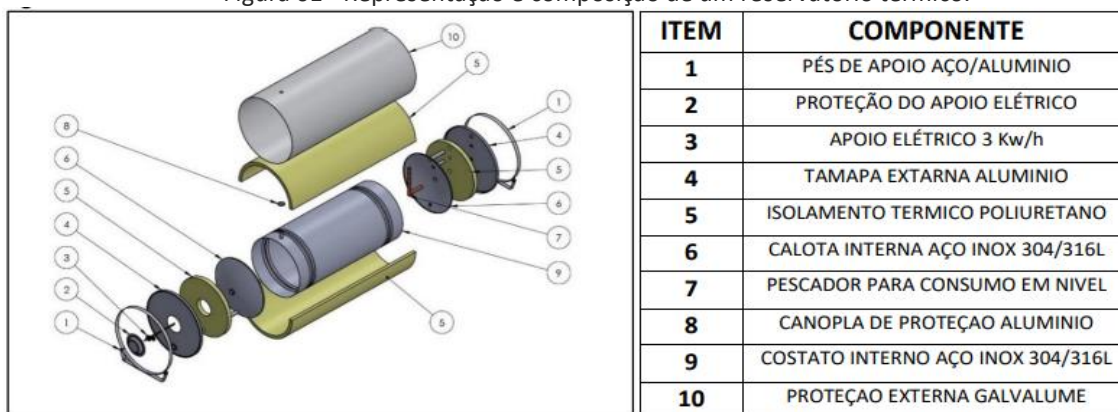
MATERIAIS

Para atender às necessidades de uma família média brasileira, recomenda-se um volume de 300 litros de água quente reservada. O volume de água foi baseado em considerações de um banho por dia por indivíduo, com duração média de 8 minutos e vazão média de 10 litros por minuto para o chuveiro. Desta forma, o primeiro sistema analisado compreende:

- 01 Reservatório térmico com volume de 300 litros, projetado para trabalhar em pressões abaixo de 5 metros de coluna d'água (mca). Ele é fabricado internamente com chapa de aço inoxidável 304 com 0,40mm de espessura, calotas em aço inoxidável 304, soldado com gás de proteção, testado e aprovado hidrosticamente. O isolamento

térmico é feito com espuma rígida de poliuretano e revestimento externo em alumínio, na orientação horizontal, conforme a Figura 01. Marca: AAtual.

Figura 01 - Representação e composição de um reservatório térmico.



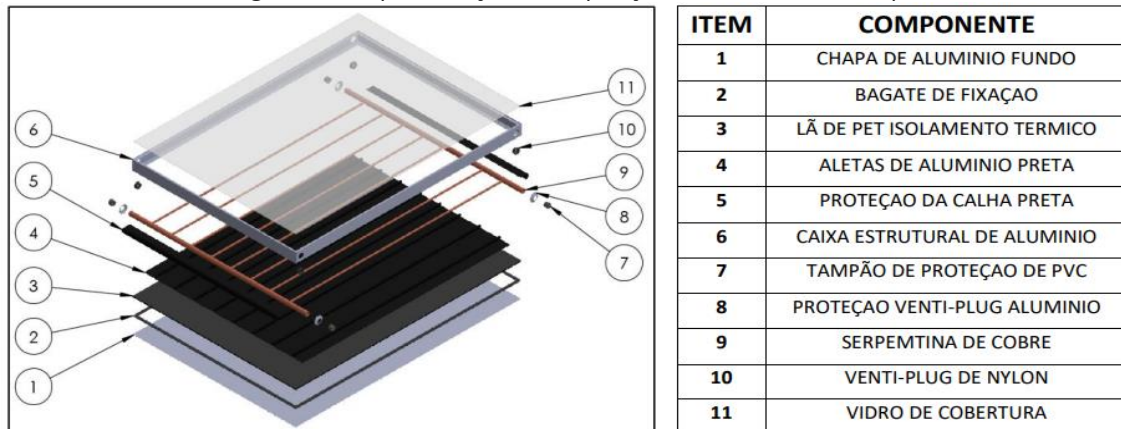
Fonte: AAtual (2023)

- 03 Coletores solares, conforme a Figura 02, com dimensões de 1362 mm x 942 mm, confeccionados em caixa de alumínio, tubulação de cobre de 10 mm (serpentina) e 22 mm (calha). A superfície de captação (aletas) é feita em chapa de alumínio pintada com tinta à base de epóxi, com vidro comum e vedação de borracha de silicone, com pressão de funcionamento de 40 mca, área externa de 1,23 m², eficiência energética de 56,7%, com produção mensal de energia de 78,1 kWh/mês.m² e de 96 kWh/mês. Certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) com desempenho B. Marca: AAtual.

- 01 Controlador digital programável (CDP), modelo BMP, Versão 02, marca Full Gauge com três sensores e duas saídas;
- 01 Resistência elétrica em cobre, com tensão de 220V e potência de 2500W;
- 01 Dispositivo de aquisição de dados dedicados;
- 01 Caixa d'água com volume de 1000 litros, em polietileno, modelo Acqualimp;
- 01 chuveiro elétrico com potência de 7800W, tensão de 220V, modelo Acqua Duo Ultra, da marca Lorenzetti.

- Insumos básicos como ferramentas, tubulação e conexões hidráulicas, bancada de testes, fornecimento de eletricidade e água para montagem dos sistemas.

Figura 02 - Representação e composição de um coletor solar plano.



Fonte: AAtual (2023).

O sistema de geração fotovoltaico, conectado à rede concessionária, foi composto por:

- 04 painéis fotovoltaicos monocristalinos, da marca DAH, modelo DHM-72X10/FS-555W, com potência unitária de 555W, da marca DAH. Nas dimensões de 2279×1134×32mm, 144 células e eficiência de 21,48%, de acordo com DAH SOLAR;
- 01 Micro-inversor, da marca Hoymiles, modelo HMS-2000-4T, nas dimensões de 310 × 185 × 40,6mm, com potência máxima de saída contínua de 2000VA, e com número máximo de módulos conectados de quatro painéis, de acordo com HOYMILES;
- Insumos para a instalação do sistema, como cabos, disjuntores e suportes para os painéis.

Para o desenvolvimento da pesquisa seguiu-se o roteiro de implantação a partir da:

- Montagem do sistema de aquecimento solar em cobertura residencial e acompanhamento do ganho de temperatura em um intervalo de quatro dias e a cada duas horas, desde o nascer até o pôr-do-sol;
- Montagem do sistema exclusivo de aquecimento elétrico e acompanhamento do ganho de temperatura durante 04 ciclos com aferição do ganho de temperatura a

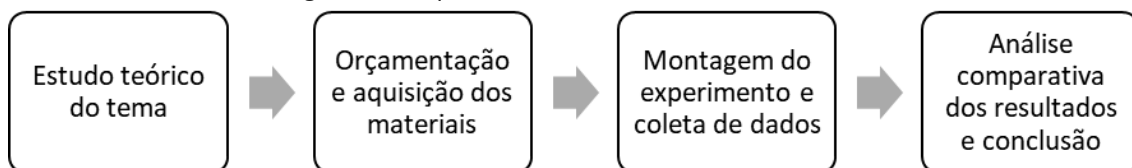
cada 30 minutos justificado pelo maior ganho energético em um menor intervalo de tempo;

- Projeto de implantação, homologação do sistema de microgeração e montagem do sistema de geração fotovoltaico a partir do consumo especificado para o uso elétrico;
- Análise de viabilidade econômica dos sistemas e tempo de retorno para cada uma das propostas;
- Elaboração dos resultados e conclusões dos comparativos.

MÉTODOS

O trabalho teve início com a fundamentação teórica do tema, seguido pelo estudo prévio das condições de instalação dos sistemas de aquecimento e geração fotovoltaica em uma unidade residencial localizada no município de Araras, no interior do estado de São Paulo. Em seguida, foi realizada a instalação, coleta e análise de dados.

Figura 03 - Esquemático dos trabalhos desenvolvidos.



Fonte: As Autoras (2023)

Em relação a montagem, inicialmente foi realizada a instalação de uma caixa d'água fria com volume de 1000 litros, com altura de 0,90m e diâmetro 1,34m. A caixa d'água foi apoiada em estruturas de madeira a uma altura de 2,0 metros a partir da base superior da laje de cobertura até o fundo da caixa d'água. Foi criada uma saída exclusiva na caixa d'água, com registro de Policloreto de Polivinila (PVC) para o reservatório térmico, sendo feita a transição do PVC para a tubulação de Policloreto de Vinilo Clorado (CPVC). Um sifão foi instalado para impedir o retorno de água quente para a caixa d'água. O mesmo efeito pode ser alcançado com o uso de uma válvula de retenção.

O circuito da água fria chega ao reservatório térmico, que foi instalado apoiado em laje pré-moldada com capa em concreto, cuja resistência é compatível com a carga



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

solicitada. A água, que possui a menor temperatura, sai do reservatório térmico e percorre as placas coletoras, que estão ligadas em série, retornando então ao reservatório térmico. Isso resulta em um sistema de circulação natural ou circulação por termossifão.

Os coletores solares foram instalados em telhados cerâmicos, com inclinação correspondente às especificações normativas e orientação voltada para o Norte. Não foi necessário utilizar suportes para correção de inclinação ou orientação, visto que essa instalação está em conformidade com a NBR 15569:2021 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação (2021).

A circulação entre o reservatório térmico e os coletores solares ocorre devido à variação da densidade da água em função da temperatura. A água, quando aquecida, fica menos densa quando comparada a água fria, resultando em um sistema com circulação natural.

É importante notar que a implementação do circuito primário por termossifão requer um projeto arquitetônico que permita a instalação dos equipamentos, incluindo a caixa d'água, o reservatório térmico e os coletores solares, em desnível adequado que possibilite a circulação com base na diferença de densidade e na gravidade.

Foi necessária a instalação de sensores de temperatura do tipo NTC, compatíveis com o CDP, para monitorar os dados e posteriormente realizar comparações e análises. Esses sensores foram posicionados na parte inferior e superior do reservatório térmico, a fim de aferir o gradiente de temperatura.

Para o primeiro dia de observação (01/08/2023) do funcionamento do sistema de aquecimento solar, foi constatado que a temperatura da água fria estava a 16°C, e a resistência elétrica instalada como forma de apoio para o aquecimento estava desligada, garantindo a atuação exclusiva do sistema de aquecimento solar. Nesse dia, o céu estava claro e sem nuvens, o que favoreceu o funcionamento do sistema. De acordo com o site Accuweather, a temperatura média na região de instalação foi de 18,5°C.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

As medições foram realizadas a cada duas horas, no intervalo das 06h30min às 18h, que correspondem aos horários entre o nascer e o pôr-do-sol, conforme as informações do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG). Em 01/08/2023, o nascer do sol ocorreu às 06h41min, e o pôr-do-sol ocorreu às 17h44min.

Durante o monitoramento, a linha de consumo de água permaneceu fechada para verificar o ganho de temperatura promovido pelas placas coletoras solares.

Após a conclusão da primeira etapa de ensaios, toda a água quente presente no reservatório térmico foi utilizada.

Para iniciar o ensaio com o sistema de aquecimento elétrico, a água inicialmente aquecida pelas placas solares foi utilizada, e o reservatório térmico foi preenchido com água fria. O controlador lógico programável (CLP) foi configurado com um aumento de temperatura de $+0,60^{\circ}\text{C}$ para manter a temperatura inicial do experimento em 16°C .

No segundo ensaio, foi utilizado o mesmo reservatório térmico que possui a resistência acoplada. Os registros de passagem plena do circuito entre reservatório e os coletores solares foram fechados, enquanto que a resistência elétrica de 2500W foi ligada através do CLP e programada para funcionar até atingir a temperatura de 60°C .

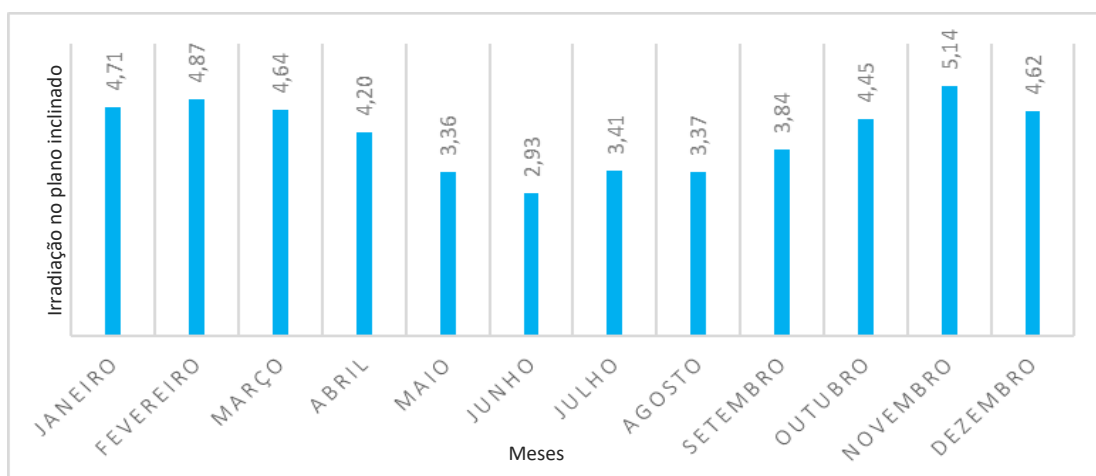
O terceiro modelo comparativo consistiu na análise do consumo e do custo médio do uso de um chuveiro elétrico de potência de 7800W, dentro das especificidades supracitadas. O valor de consumo de 93,6 kWh por mês foi obtido matematicamente para suprir a demanda de água quente para os banhos de três pessoas.

Dessa forma, considerando os dados de irradiação solar média mensal no plano inclinado, as horas de incidência solar e as perdas decorrentes da orientação e inclinação dos painéis solares fotovoltaicos, procedeu-se ao dimensionamento do sistema de microgeração para atender exclusivamente o sistema de aquecimento, sendo realizada a instalação posteriormente.

Os dados de irradiância para o dimensionamento foram baseados nas definições de Duffie e Beckman (2006), que apresentam o equacionamento para a irradiância extraterrestre, em W/m^2 , bem como a radiação solar acumulada no topo da atmosfera,

levando em consideração a latitude, a hora solar de estudo e a data de interesse. Essas informações se correlacionam com o equacionamento da irradiação solar do plano inclinado, conforme simplificado por Ríspoli, Kowalski e Montaute (2013).

Figura 04 - Irradiação de projeto do plano terrestre inclinado de acordo com equacionamentos.



Fonte: As Autoras (2023).

Com base nas informações ambientais e de consumo, um sistema de microgeração com potência de 1,11 kWp foi dimensionado para atender o consumo médio mensal anual de um chuveiro elétrico, e um sistema de 2,22 kWp foi dimensionado para atender o consumo elétrico da resistência associada ao reservatório térmico. É importante ressaltar que esse dimensionamento foi específico para esse item elétrico deste estudo, não incluindo outros dispositivos eletroeletrônicos residenciais.

COLETA DE DADOS

A partir da definição dos projetos, aquisição e montagem dos mesmos, foi possível proceder com a coleta dos dados, conforme apresentado na Tabela 01.

A Tabela 02 apresenta os valores para a aquisição dos componentes descritos na seção “Materiais”, de acordo com o modelo de estudo e considerando o fornecimento de todos os materiais e serviços de instalação para a região de Araras. Também são



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

apresentados os custos anuais de manutenção preventiva, uma vez que a limpeza dos componentes é necessária para garantir a eficiência do sistema. O acúmulo de sujeira na superfície das placas pode prejudicar a geração de calor ou energia.

Tabela 01 - Tempo de aquecimento para os sistemas de aquecimento composto por reservatório térmico e placas coletoras solares e através de reservatório térmico com resistência elétrica.

Sistema	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4
Reservatório e placa solar	10,56	11,45	10,48	10,85
Reservatório com resistência	6,50	6,3	6,35	6,1

Fonte: As Autoras (2023).

Tabela 02 - Custo médio para implantação dos sistemas estudados, incluindo materiais e mão de obra para instalação, custo anual de manutenção preventiva e custos residuais com fontes complementares de aquecimento.

Sistema	Investimento	Custo anual com manutenção preventiva	Gastos anuais com fontes energéticas complementares
Reservatório e placa solar	R\$10.572,00	R\$ 150,00	R\$197,10
Reservatório com resistência e sistema de microgeração	R\$15.857,00	R\$ 150,00	R\$0,00
Chuveiro elétrico e sistema de microgeração	R\$7.900,00	R\$ 150,00	R\$0,00

Fonte: As Autoras (2023).

No caso da utilização do sistema de aquecimento termossolar, é necessário um sistema complementar de energia para o aquecimento de água nos dias de baixa irradiação solar. Geralmente, os reservatórios térmicos possuem uma resistência elétrica acoplada, cujo funcionamento estimado é de 2% do ano. Isso resulta em um gasto anual médio de R\$197,10, considerando o valor atual do kWh.mês para uma residência com classificação B1, atendida pela concessionária Elektro SA, com uma



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

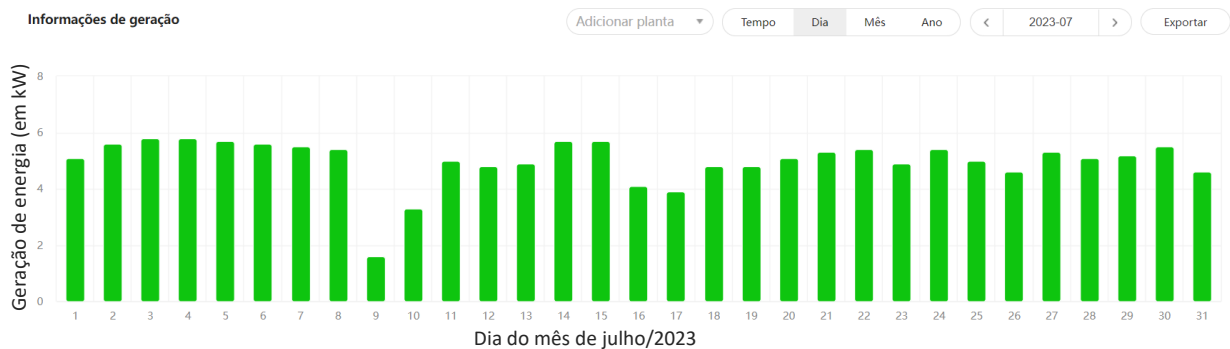
30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

alíquota de 12% sobre o valor da Tarifa de Energia (TE) de R\$0,266476 e de R\$0,426381 devido à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição.

Os dados relativos à geração do sistema de microgeração fotovoltaica são obtidos por meio de uma plataforma de monitoramento, acessível por login e senha. No contexto deste estudo, considerando o mês de julho, esses dados são apresentados na Figura 05.

Figura 05 - Geração diária do sistema de microgeração fotovoltaica para o mês de julho/2023



Fonte: Aplicativo Hoymilles

RESULTADOS

O presente trabalho tem como objetivo identificar uma fonte alternativa de energia que possa ser implementada em residências unifamiliares, visando à economia e à redução na demanda energética da concessionária. Para isso, foi realizado um estudo preliminar envolvendo a fonte de aquecimento termossolar e a geração de energia solar por meio de placas fotovoltaicas.

A comparação entre as fontes demonstra que a utilização de um chuveiro elétrico em conjunto com a microgeração fotovoltaica é a opção mais apropriada na atualidade, apresentando um período de retorno (*payback*) de 10,50 anos. Além disso, a matriz fotovoltaica, conectada à rede da concessionária local, permite um fornecimento adequado de energia elétrica para o funcionamento do chuveiro durante dias de baixa incidência solar, dispensando a necessidade de sistemas complementares.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Da mesma forma, o sistema de microgeração pode ser implantado para suprir a demanda de outros dispositivos eletroeletrônicos da residência, não se limitando apenas ao aquecimento de água.

No caso em que há acúmulo de água por meio de um reservatório de água quente, o sistema de maior viabilidade é o composto por placas coletoras planas destinadas ao aquecimento. Para essa configuração, o período de retorno, o *payback*, é de 11,4 anos.

Sistemas com reservatório elétrico tornam-se menos atrativos, com um período de retorno, *payback*, estimado de 19,7 anos.

É importante ressaltar que este trabalho foi desenvolvido durante o período de menor incidência solar no Hemisfério Sul, correspondente aos meses de inverno. Para estudos futuros, seria recomendado um comparativo que abranja um ano completo, a fim de demonstrar com mais precisão o período de retorno real, *payback*, que tende a ser menor com a maximização da geração de energia resultante da maior incidência solar.

Além disso, os sistemas estudados apresentam uma vida útil de 25 anos, de acordo com as informações fornecidas pelos fabricantes, o que justifica sua implantação em vista dos benefícios econômicos e ambientais proporcionados, cabendo reforçar que para futuras pesquisas é necessária a avaliação conjunta dos aspectos sociais e culturais, além do aspecto financeiro para a aceitação de uma solução benéfica a sociedade.

REFERÊNCIAS

AATUAL INDÚSTRIA AQUECEDORES SOLARES. **Descrição dos produtos: coletores solares.** Disponível em: <<https://aatual.com.br/produtos/coletor-solar/>>. Acesso em: 30/07/2023.

AATUAL INDÚSTRIA AQUECEDORES SOLARES. **Descrição dos produtos: reservatório térmico.** Disponível em: <<https://aatual.com.br/produtos/reservatorio-termico/>>. Acesso em: 30/07/2023.

ACCUWEATHER. **Temperaturas para o mês de agosto de 2023 em Araras.** Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/araras/36344/august-weather/36344>>. Acesso em: 10/08/2023.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15569 – **Sistemas de aquecimento solar em circuito direto** – projeto e instalação. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2021. p. 41.

BORGES, F. Q. **Crise de energia elétrica no Brasil: Uma breve reflexão sobre a dinâmica de suas origens e resultados**. RECIMA21 - Revista de Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia, 2021. Disponível em: <<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/809/670>>. Acesso em: 03/08/2023.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Consumo de energia no SIN. 2020**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/dados-e-analises/consumo>>. Acesso em: 30/07/2023.

DAH SOLAR. **Descrição dos produtos: painel fotovoltaico modelo DHM-72X10/FS-555W**. Disponível em: <https://pt.dahsolarpv.com/dhm-72x10-fs-bw-540-555w_p223.html>. Acesso em: 30/07/2023.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 3ª ed. Wisconsin: John Wiley & Sons, 2006.

HOYMILES. **Descrição dos produtos: microinversor HMS-2000-4T**. Disponível em: <<https://www.hoymiles.com/br/product/hms-1600dw-1800dw-2000dw-4t-2/>>. Acesso em: 30/07/2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 03/08/2023.

IAG - INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Efemérides astronômicas**. Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/cultext/materiais/efemerides>>. Acesso em: 30/07/2023.

MINISTÉRIO DA MULHER, DA FAMÍLIA E DOS DIREITOS HUMANOS. **Fatos e Números: Famílias e Filhos no Brasil. 2018**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/observatorio-nacional-da-familia/fatos-e-numeros/familias-e-filhos-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 30/07/2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal De Expansão De Energia 2023**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2029-a-2021/pde-2023/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde-2023-1.pdf>>. Acesso em: 30/07/2023.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

MONTAUTE, M. G; MARESCHACHI, A. **Uma análise comparativa entre a fonte de aquecimento solar, elétrica e por aquecedor a gás para o vestiário de uma indústria de pequeno porte. XXVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - Economia Circular e suas Interfaces com a Engenharia de Produção, 2020.** Disponível em: <https://simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=15&art=201&cad=35491&opcao=com_id>. Acesso em: 30/07/2023.

PNNL-22921 - PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. **Impacts of Water Quality on Residential Water Heating Equipment. U.S. Department of Energy, Washington, 2013.** Disponível em: <https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22921.pdf>. Acesso em: 30/07/2023.

RISPOLI Í. A. G.; KOWALSKI, L. F.; MONTAUTE, M. G. **Limitações de um Método Empírico no Dimensionamento de Aquecedores Solares de Água em Situações de Desvio Azimutal para os Coletores Solares.** Asociación Argentina de Energía Solar ASADES, Congreso Internacional Universidad Pública de Tucumán, Argentina, 2013.

SANGOI, J. **Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em residências.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/169435/338189.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30/07/2023.