

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA SOBRE SISTEMAS SOLARES DE BAIXO CUSTO PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Janaina Kawata de Alencar¹

Cristiane Hengler Corrêa Bernardo²

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho³

Resumo

Tendo em vista a importância do desenvolvimento sustentável frente às crises do mundo contemporâneo, as discussões acerca da utilização de fontes de energias limpas e renováveis têm sido objeto de muitas pesquisas científicas. Atualmente, muitos países adotaram como forma de aquecer água, sistemas de aquecimento por coletores solares. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo verificar, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), como está configurada o estado do conhecimento sobre sistemas de baixo custo para fins de aquecimento de água por meio da energia solar. A pesquisa delimitou como tempo os documentos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2019. Como resultados evidencia-se que a maioria dos trabalhos que envolveu estudos sobre a viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares não teve como foco principal os sistemas de baixo custo. Observou-se ainda um destaque para publicações voltadas à temática de energia solar com enfoque na geração de energia fotovoltaica e poucas publicações com tratativas referentes a políticas públicas.

Palavras-chave: RBS. Energia solar. Coletores. Sustentabilidade.

¹Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã.

²Livre-Docente em Comunicação Empresarial, Doutora em Educação, docente do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã.

³Livre-Docente em Matemática Aplicada e Computacional, Doutor em Agronomia/Energia na Agricultura, docente do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã.

SISTEMATIC LITERATURE REVIEW ON LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS

Abstract

In view of the importance of sustainable development in the face of the crises of the contemporary world, discussions about the use of clean and renewable energy sources have been the subject of much scientific research. Currently, many countries have adopted solar collector heating systems as a way to heat water. In this context, the present article aims to verify, by means of a Systematic Bibliographic Review (SBR), how the state of knowledge about low-cost systems for heating water by solar energy is configured. The research delimited as time the scientific documents published between the years 2015 and 2019. The results show that most of the studies on the technical and economic feasibility of solar heaters did not focus mainly on low-cost systems. It was also observed a highlight for publications focused on the solar energy theme with a focus on photovoltaic energy generation and few publications dealing with public policies.

Keywords: SBR. Solar energy. Collectors. Sustainability.

Introdução

Como forma de diversificar a matriz energética atual e diminuir os efeitos negativos causados pelo uso de combustíveis fósseis, tem se buscado cada vez mais, o uso de fontes de energias renováveis. Nesse contexto, a energia solar vem sendo utilizada gradativamente por ser gerada de forma segura e ser favorecida pela distribuição uniforme de irradiação solar (WANG et al., 2017; SANTOS; COSTA FILHO; NICHIOKA, 2019). Nessa perspectiva, a energia solar térmica é uma das tecnologias, em desenvolvimento, considerada uma energia de grande potencial no mercado mundial. Nas últimas décadas, houve um aumento do uso de coletores solares para aquecimento de água no setor da construção civil. Contudo, ainda carece de estudos para melhorar seu desempenho e sua eficiência, em especial, quanto a perda de calor (WANG et al, 2015).

Destaca-se também o grande avanço e desenvolvimento de pesquisas em energias renováveis, como a energia solar (Gabriel Filho et al., 2012), radiação solar (Cunha et al., 2021a, 2021b), na própria área de aquecimento solar (Gabriel Filho et al., 2019, 2017, 2014, 2013; Choueri et al., 2013), na energia eólica (Nazaré et al., 2020; Gabriel Filho et al., 2011) e em sistemas híbridos solar e eólica (Gabriel Filho et al., 2016; Seraphim et al., 2014). Apesar do aumento do uso de aquecedores solares em todo território mundial, esse tipo de tecnologia ainda apresenta preços elevados, principalmente em países emergentes. Segundo Napolini e Rütger (2012), o alto valor de mercado justifica-se pelo fato de sistemas domésticos de aquecimento de água por fonte solar, serem projetados com vistas às residências de classe média ou alta. Nesse sentido, estudos que abordam o desenvolvimento de tecnologias simples e de baixo custo podem contribuir para que famílias de baixa renda tenham acesso a esse tipo de sistema, possibilitando uma melhor qualidade de vida às pessoas, desempenhando um papel importante no planejamento energético e no desenvolvimento socioambiental (JUANICÓ; DILALLA, 2016).

Entende-se ser importante investigar como está constituído o cenário de desenvolvimento de tecnologias de baixo custo utilizando energia solar para o aquecimento de água. Tal pesquisa possibilita com que sejam identificadas as peculiaridades, potencialidades e desafios enfrentados na promoção desses tipos de sistemas. Nesse contexto, configura-se esta Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) que teve como objetivo verificar como está configurada o estado do conhecimento sobre sistemas de baixo custo para fins de aquecimento de água por meio da energia solar.

Procedimentos Metodológicos

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é um método científico que possui como objetivo fornecer conhecimentos estruturados sobre um tema de pesquisa,

possibilitando ao pesquisador identificar questões sobre seu tema de estudo (BIOLCHINI et al., 2007). Nesse sentido, “é o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado” (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011, p. 3). O método utilizado para o desenvolvimento do artigo foi conduzido conforme recomendações de Conforto, Amaral e Silva (2011), utilizando o modelo RBS *Roadmap*, organizado em três etapas, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Etapas para condução da revisão bibliográfica sistemática

1 - Entrada	2 - Processamento	3- Saída
1.1 Problema 1.2 Objetivo 1.3 Fontes primárias 1.4 <i>Strings</i> de busca 1.5 Critérios de inclusão	2.1 Condução das buscas 2.2 Seleção final dos artigos	3.1 Síntese dos resultados

Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

Ressalta-se que, antes mesmo da execução das três etapas da RBS, primeiramente, se faz necessário o planejamento. Neste foi realizada uma pesquisa prévia sobre a temática de aquecimento solar de água a fim de definir os strings de busca, identificar os artigos relevantes e os principais autores, assim como as bases em que os principais artigos estão indexadas. Só então se parte para as etapas de realização da RBS, que foram sistematizadas com auxilia do software StArt (State of the Art through Systematic Review).

Entrada

Com dados obtidos durante o planejamento para a realização da RBS, na etapa da entrada, primeiramente se definiu o problema de pesquisa, o objetivo, as bases de dados, os *strings* de busca e os critérios de inclusão das publicações (Quadro 2).

Quadro 2. Parâmetros de entrada da RBS

Problema	
Como está configurado o estado do conhecimento científico sobre sistemas de baixo custo para fins de aquecimento de água por meio da energia solar, entre os anos de 2015 e 2019?	
Objetivo	
Verificar, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), a literatura sobre sistemas de baixo custo para fins de aquecimento de água por meio da energia solar, entre os anos de 2015 e 2019.	
Bases de Dados	
Science Direct Scopus Web of Science	
Strings de busca	
Science direct	("solar technology" AND "low cost" AND "water heating")
Scopus and Web of Science	"Low cost" AND "solar water heating"
Critérios de inclusão dos artigos nas bases de dados	
Somente artigos que tratam de alguma forma de temas relacionados a aquecimento de água por meio de aquecimento solar.	

Fonte: Pesquisa dos Autores.

Vale destacar que houve a necessidade de numerosas adaptações nos *strings* de busca, sendo testadas várias combinações de palavras, até chegar nos termos a serem usados juntamente com os operadores lógicos da busca booleana. Definidos os parâmetros de entrada para a execução da RBS, passou-se para a etapa de processamento, com busca nas bases de dados e seleção das publicações.

Processamento

O Quadro 3, apresenta o resultado do processo de busca pelas bases de dados, por artigos relacionados ao tema de interesse, e as etapas de uso de filtros. Como se pode observar também no Quadro 3, o início da busca nas três bases de dados em questão: Science Direct, Scopus e Web of Science deu-se, inicialmente sem a aplicação de nenhum filtro. Posteriormente, foram sendo incluídos filtros, de modo a refinar a pesquisa, primeiramente, para um período mais recente, de modo que os documentos científicos refletissem uma tecnologia mais atual, depois optou-se

por selecionar apenas artigos, de modo a relacionar apenas pesquisas já submetidas a análise dos pares, na sequência, como foram localizados alguns artigos que não estavam disponíveis gratuitamente, optou-se por incluir o filtro de acesso livre e por fim, o filtro do idioma, que não alterou o número de artigos localizados.

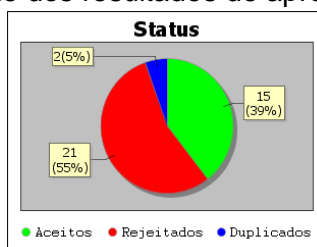
Quadro 3. Resultados das buscas e do processo de filtragem nas bases de dados.

Filtros	Bases de dados		
	Science Direct 22/10/2019	Scopus 22/10/2019	Web of Science 22/10/2019
Sem Filtros	1104	70	34
Período de 2015 a 2019	364	25	15
Artigos e artigos de revisão	311	16	10
Acesso livre	32	2	4
Idioma: Inglês e Português	32	2	4

Fonte: Pesquisa dos Autores.

Após a aplicação dos quatro filtros nas próprias bases de dados, os resultados obtidos foram exportados em formato BIBTEX para o *software* StArt. Os artigos classificados como duplicados foram identificados e excluídos, restando 36 artigos. A Figura 1 mostra a quantidade de artigos aceitos, rejeitados e duplicados nessa primeira etapa de processo de seleção de artigos.

Figura 1. Representatividade dos resultados de aprovação e rejeição dos artigos

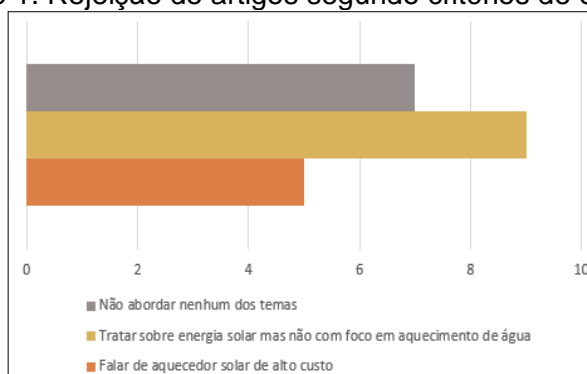


Fonte: Pesquisa dos Autores.

De acordo com os critérios de inclusão, foram utilizados somente os artigos que trouxeram em sua abordagem aquecimento solar de baixo custo e que tratavam questões de tecnologia solar relacionado ao aquecimento de água. Assim, a seleção dos artigos mediante a leitura do título, resumo e palavras-chave, resultou na

compilação de 15 artigos. Passou na sequência para a leitura da introdução e conclusão dos artigos, conforme as orientações de Conforto, Amaral e Silva (2011). Restou para a leitura completa um total de sete artigos, de onde foram extraídos os resultados da revisão. Vale salientar que todo o processo de seleção desses documentos se deu de forma rigorosa, respeitando os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos inicialmente. De acordo com o número expressivo de documentos rejeitados, apresenta-se no Gráfico 1 os fatores mais relevantes que resultaram na exclusão dos artigos.

Gráfico 1. Rejeição de artigos segundo critérios de exclusão



Fonte: Pesquisa dos Autores.

Como se pode notar, o elevado índice de rejeição se deu pelo fato de os artigos serem relacionados a sistemas de aquecimento solar por placas fotovoltaicas e não com foco ao aquecimento de água em residências.

A seção a seguir apresenta a saída dos resultados obtidos, a análise aprofundada dos sete artigos selecionados para a terceira etapa do método RBS *Roadmap*.

Resultados e Discussões

Para esta etapa final da RBS foram selecionados sete artigos, sendo que cinco deles estão indexados na *Science Direct*, um na *Scopus* e um na *Web of Science*. O Quadro 4 apresenta informações de título e autores, ano de publicação, base de

indexação, periódico, fator de impacto e índice H, referentes as bases de dados das quais foram selecionados os artigos para leitura completa. Assim, nota-se que os jornais listados são periódicos com bom fator de impacto e, portanto, podem representar uma produção consistente e com grande inserção junto aos pesquisadores da área.

Quadro 4. Artigos Selecionados Pelo Método Rbs Roadmap

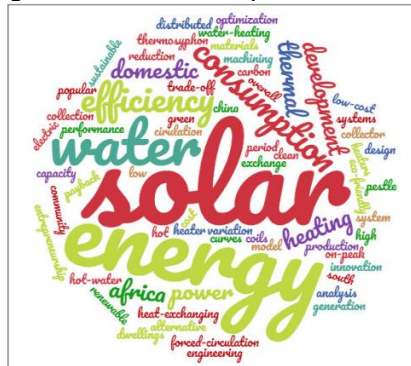
Título/Autores	Ano	Base	Jornal	Fator de Impacto	Índice H
<i>Technical and economic feasibility of the use of solar thermal energy in condominiums with popular dwellings</i> MORAES, E. C. S, SOUZA, T. M., BALESTIERI, J. A.	2015	Scopus	<i>Renewable Energy and Power Quality Journal</i>	0,19	--
<i>Solar PV and solar water heaters in China: Different pathways to low carbon energy</i> URBAN, F., GEALL, S., WANG, Y.	2016	Science direct	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	1,556	222
<i>Investigation and Modelling of the Centralized Solar Domestic Hot Water System in Residential Buildings</i> YU, R., YAN, D., FENG, X., GAO, Y.	2016	Science direct	<i>Procedia Engineering</i>	--	51
<i>A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system</i> GAUTAM, A., CHAMOLI, S., SINGH, S.	2017	Science direct	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	10,556	222
<i>Multi-objective optimization for reducing the auxiliary electric energy peak in low cost solar domestic hot-water heating systems in Brazil</i> CARDEMIL, J.M., STARKE, A. R., COLLE, S.	2018	Science direct	<i>Solar Energy</i>	4,674	151
<i>Influence of the absorber tubes configuration on the performance of low-cost solar water heating systems</i> BARBOSA, E. G., ARAÚJO, M. E., MORAES, M. J., MARTINS, M. A., ALVES, B. G. X. BARBOSA, E. G.	2019	Science direct	<i>Journal of Cleaner Production</i>	6,396	150

<i>Development of a large-area, low-cost solar water-heating system for South Africa with a high thermal energy collection capacity</i>	2019	Web of Science	<i>Journal of Energy in Southern Africa</i>	1,016	15
TWITE, M. F., SNYMAN, L. W., KOKER, J., YUSUFF, D.					

Fonte: Pesquisa dos Autores.

A Figura 2, apresenta uma nuvem de palavras elaborada a partir das palavras-chave dos artigos selecionados para a análise.

Figura 2. Nuvem de palavras-chave

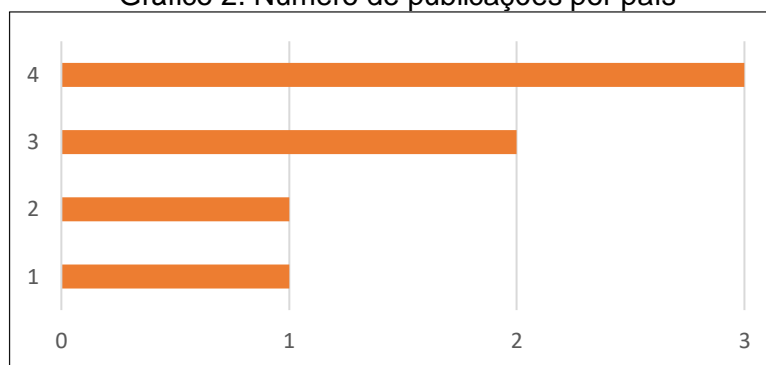


Fonte: Pesquisa dos Autores.

Como se pode observar, os termos mais evidenciados na Figura 2 foram: solar, energy, water e efficiency, indicando que os artigos selecionados estão de acordo com o objetivo inicial desta RBS.

Detalhando a origem dos artigos, o Gráfico 2 expõe o número de publicações por país, permitindo observar que os trabalhos desenvolvidos com foco em populações carentes sejam em áreas urbanas ou rurais, são provenientes de países em desenvolvimento como a Índia, África do Sul, China e Brasil, constatando-se que mesmo timidamente, essa tecnologia social vem ganhando espaço nos países emergentes.

Gráfico 2. Número de publicações por país



Fonte: Pesquisa dos Autores.

Para a discussão dos resultados, optou-se em classificar os artigos de acordo com a abordagem, sendo elas: (i) Desempenho térmico do coletor; (ii) Viabilidade técnico-econômica e (iii) Políticas para o aquecimento de água por fonte solar. A seguir, no Quadro 5, apresentam-se os sete artigos selecionados com informações de autoria, ano de publicação, título, tema e/ou objetivo, bem como a abordagem.

Quadro 5. Relação dos artigos selecionados pelo método RBS *Roadmap*.

Autores/Ano/ Idioma	Título	Tema/Objetivo	Abordagem
MORAES, E. C. S., SOUZA, T. M., BALESTIERI, J. A. P. (2015) Inglês	<i>Technical and economic feasibility of the use of solar thermal energy in condominiums with popular dwellings</i>	Avalia o conhecimento e aceitação de sistemas de aquecedores solares de água e o perfil de consumo de energia elétrica.	(ii) Viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares
URBAN, F., GEALL, S., WANG, Y. (2016) Inglês	<i>Solar PV and solar water heaters in China: Different pathways to low carbon energy</i>	Apresenta um panorama a respeito da energia solar fotovoltaica e aquecedores solares.	(iii) Políticas para o aquecimento de água por fonte solar
YU, R., YAN, D., FENG, X., GAO, Y. (2016) Inglês	<i>Investigation and Modelling of the Centralized Solar Domestic Hot Water System in Residential Buildings</i>	Avalia a adaptabilidade de um sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais com baixa eficiência térmica.	(i) Desempenho térmico do coletor

GAUTAM, A., CHAMOLI, S., SINGH, S. (2017) Inglês	<i>A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system</i>	Aponta a viabilidade econômica de sistemas de aquecimento solar de água.	(ii) Viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares
CARDEMIL, J.M., STARKE, A. R., COLLE, S. (2018) Inglês	<i>Multi-objective optimization for reducing the auxiliary electric energy peak in low cost solar domestic hot-water heating systems in Brazil</i>	Analisa o impacto de políticas de promoção de sistemas de aquecimento solar.	(iii) Políticas para o aquecimento de água por fonte solar
BARBOSA, E. G., ARAÚJO, M. E., MORAES, M. J., MARTINS, M. A., ALVES,	<i>Influence of the absorber tubes configuration on the performance of low-cost solar water heating systems</i>	Investiga o desempenho térmico de aquecedores solares de baixo custo.	(i) Desempenho térmico do coletor
TWITE, M. F., SNYMAN, L. W., KOKER, J., YUSUFF, D. (2019) Inglês	<i>Development of a large-area, low-cost solar water-heating system for South Africa with a high thermal energy collection capacity</i>	Desenvolve um sistema de aquecimento solar de baixo custo.	(ii) Viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares

Fonte: Pesquisa dos Autores.

Desempenho térmico do coletor

Neste item, são apresentados os artigos que envolvem estudo de caso sobre o desempenho térmico de aquecedores solares específicos. O trabalho realizado por Yu et al. (2016), buscou desenvolver um modelo para avaliar a adaptabilidade de um sistema de aquecimento solar de água em locais com muitos usuários e apenas um aquecedor solar. Neste estudo, os autores incluíram no modelo de análise, tanto informações referentes às características dos coletores solares e reservatórios de água, como também dos perfis dos usuários. Segundo Yu et al. (2016) é importante

adicionar informações particulares dos usuários, pois os mesmos utilizam os aquecedores de água em horários diversos.

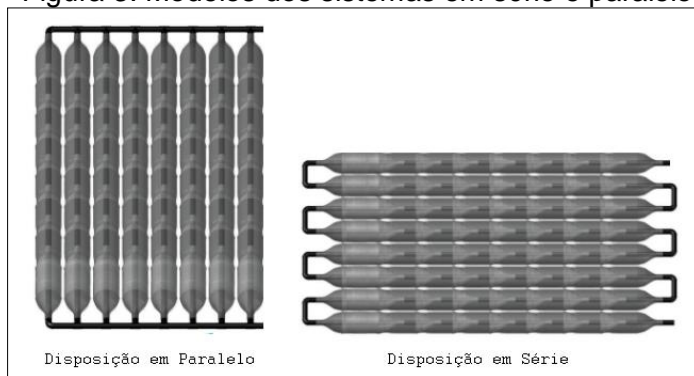
Ao desenvolver este trabalho, Yu et al. (2016) consideraram dois sistemas com características diferentes implantados em edifícios: um sistema cíclico, em que a água permanece em movimento fazendo o ciclo reservatório-usuário, ocasionando a perda de temperatura durante o trajeto (dentro da tubulação), instalando-se no reservatório, uma resistência para aquecer a água, a fim de manter a temperatura alta, e o segundo sistema acíclico, em que a água permanece em estado estacionário, o que também ocasiona a perda de temperatura, optando-se pela instalação da resistência na saída para o usuário.

Os autores não citam as especificações técnicas dos aquecedores solares utilizados na pesquisa realizada por eles. No entanto, conclui-se que no sistema cíclico há um gasto maior de energia para manter o reservatório em uma temperatura mais elevada quando comparado com o gasto de energia quando a resistência é acionada no momento do uso da água pelo usuário (YU et al., 2016).

Já Barbosa et al. (2019), projetaram e construíram os sistemas de aquecimento solar de baixo custo, utilizando tubos de PVC, garrafas PET e embalagens de leite vazias. Foram construídos dois painéis solares, sendo um disposto em paralelo e o outro em série, conforme Figura 3.

Os experimentos ocorreram durante dois dias, no município de Anápolis, Goiás – BRASIL, sendo escolhidos um dia com maior radiação e um outro, parcialmente nublado. Segundo Barbosa et al. (2019), houve uma maior variação de temperatura no dia de menor radiação solar, constatando também que, o painel disposto em paralelo apresenta um melhor desempenho em relação ao painel construído em série.

Figura 3. Modelos dos sistemas em série e paralelo



Fonte: Adaptado de Barbosa et. al (2019).

Ainda no que se refere ao desempenho de aquecedores solares convencionais, Yu et al. (2016) e Barbosa et al. (2019), relatam que a eficiência de aquecimento desses sistemas apresenta valores de variação entre 40% e 67%. Desta forma, Barbosa et al. (2019) concluem que aquecedores solares construídos de materiais reaproveitáveis possuem desempenho satisfatório, uma vez que os aquecedores do experimento, em dia de maior radiação, alcançaram eficiência de 37,8% quando disposto em série e 40,9% quando disposto em paralelo, enquanto que nos dias de menor radiação, alcançaram 33,3% e 38%, respectivamente.

Os dois artigos aqui apresentados evidenciam a importância de estudos que avaliam o desempenho de sistemas de aquecimento. Percebe-se o consenso dos autores em traçar planos de acordo com medições de campo para verificar as necessidades dos sistemas. Entretanto, ressalta-se que o modelo de adaptação do sistema de aquecimento proposto por Yu et al. (2016) é interessante para incentivar a implantação de aquecedores solares em edifícios residenciais em que não é tão usual, devido a quantidade de usuários dependentes de um único sistema.

Em contrapartida, a aplicação deste modelo à aquecedores solares de materiais reutilizáveis em residências, não apresenta muita viabilidade, visto que ao acoplar resistências a esses sistemas, podem promover um aumento do consumo de energia.

Viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares

Este item apresenta os artigos que versam sobre a viabilidade de sistemas de aquecimento por fonte solar. Moraes, Souza e Balestieri (2015) realizaram um levantamento do perfil de consumo de energia elétrica dos habitantes do município de Tremembé, São Paulo – BRASIL, e a economia gerada por meio da utilização de aquecedores solares. A pesquisa foi realizada por amostragem e segundo os autores, o estudo analisou três tipos de aquecedores solares. No entanto, os autores citam apenas o aquecedor de baixo custo construído com garrafas PET e canos PVC e em uma imagem disponível no artigo, visualiza-se um outro aquecedor, do tipo convencional, não sendo possível a identificação do terceiro aquecedor.

Verificou-se que 86,11% das famílias participantes da pesquisa, apresentam consumo de energia elétrica na faixa de 201-250 kWh e que 90,28% dos moradores fazem uso do chuveiro elétrico, entre às 18h00 e 21h00, período considerado de pico. De acordo com Moraes, Souza e Balestieri (2015), o sistema construído com materiais reaproveitáveis pode atender as famílias no que se refere ao aquecimento da água do chuveiro, cozinha e lavanderias, pois as temperaturas variam entre 40 °C e 60°. Os autores consideram uma solução viável para a economia de energia, com cálculos de investimento financeiro unitário de U\$ 497, 75, afirmando que a utilização desse tipo de sistema pode gerar uma economia de 12.000.000 kWh e U\$ 2.748.826,08 por ano, em uma cidade com mais de 10.000 habitantes.

Já Gautam, Chamoli e Singh (2017) fazem uma breve revisão do cenário global de sistemas de aquecimento de água por fonte solar, os tipos de aquecedores e componentes do sistema, e apresentam também informações de uso de aquecedores solares nos principais países de cada continente. Segundo Gautam, Chamoli e Singh (2017), os aquecedores solares de água são usados em todos os continentes, sofrendo pequenas variações quanto a sua aplicação, conforme apresentado no Quadro 6.

Localiza-se dois obstáculos da inserção de sistemas de aquecimento solar: o primeiro é a viabilidade econômica desses tipos de sistemas, pois necessitam de um custo inicial elevado enquanto operam com custo mais baixo, e o segundo, é a dificuldade de se determinar o tamanho ideal do sistema (área do coletor e o volume do reservatório de água), capaz de fornecer o menor custo de energia solar ajustado com a energia auxiliar (GAUTAM; CHAMOLI; SINGH, 2017). Gautam, Chamoli e Singh (2017), afirmam também que é imprescindível que para constatar a viabilidade do sistema, é necessário determinar o período de retorno e a vida útil dos equipamentos, uma vez que esta viabilidade está condicionada também à vários fatores como: taxa de juros, inflação, custo de manutenção, custo de mão de obra, que muitas vezes são esquecidos durante os estudos de viabilidade econômica.

Quadro 6. Utilização de aquecedores solares nos continentes

Continentes	Países	Aplicação
Ásia	China, Turquia, Índia, Israel, Japão, Malásia, Jordânia	Aquecimento de água para moradias unifamiliares, turismo e setor público.
África	Marrocos, Tunísia	Aquecimento de água para moradias unifamiliares e aquecimento de piscinas.
Europa	Espanha, Alemanha, Dinamarca, Polônia, Grécia, Áustria, França, Suíça	Aquecimento de água para casas unifamiliares, turismo e casas familiares do setor público, aquecimento de piscinas, combinação de água e aquecimento ambiente (para casas unifamiliares).
América (do Norte)	Estados Unidos, México, Canadá	Aquecimento de água para moradias unifamiliares, turismo e setor público, aquecimento de piscinas.
América (do Sul)	Brasil e outros países latino-americanos	Aquecimento de água para moradias unifamiliares, turismo e habitações públicas, aquecimento de piscinas.
Oceania	Austrália	Aquecimento de água para casas unifamiliares, aquecimento de piscinas.

Fonte: Adaptado de Gautam, Chamoli e Singh (2017).

Completando o trabalho anterior Gautam, Chamoli e Singh (2017) e Twite et al. (2019) buscaram desenvolver um sistema de aquecimento solar, de baixo custo, para água, visando sua utilização em residências unifamiliares. Para o estudo em questão, adicionou-se um gêiser (reservatório para armazenamento de água quente) e uma bomba a um aquecedor de baixo custo construído com telhas convencionais galvanizada.

Segundo Twite et al. (2019), esse sistema possui, em média, vida útil de dez anos e realizando o investimento em uma única parcela, o tempo de retorno desse investimento seria em torno de 15 meses. Desta forma, Twite et al. (2019) constatam que a utilização de energia fornecida pela rede de eletricidade poderia ser reduzida em torno de 60%, gerando uma redução de aproximadamente 1500 kWh por mês quando se tem um painel de 4x4 metros.

Ao encontro das conclusões de Twite et al (2019), Moraes, Souza e Balestieri (2015) afirmam que aquecedores confeccionados com materiais simples e de baixo custo, não necessitam de mão de obra especializada para a construção, tornando o investimento inicial mais barato e possibilitando geração de emprego.

Composto por três trabalhos, este item mostrou a relevância de desenvolvimento de pesquisas que utilizam protótipos utilizando medições de campo com testes e simulações de operação de sistemas de aquecimento solar de água. Percebe-se o engajamento dos pesquisadores em buscar meios para melhorar o desempenho de aquecedores solares, e uma preocupação em desenvolver sistemas com um custo mais baixo para melhorar as condições de qualidade de vida de famílias mais carentes, em áreas urbanas e rurais.

Políticas para o aquecimento de água por fonte solar

Neste item são apresentados os artigos que abordam o desenvolvimento e implantação de políticas voltadas para o aquecimento de água por fonte solar.

O trabalho de Urban, Geall e Wang (2016) almejou verificar o cenário de uso da energia solar na China sob a ótica de duas tecnologias: energia solar fotovoltaica e aquecedores solares de água. Os autores concluem que na China, devido a produção de energia solar fotovoltaica ser basicamente para atender o mercado de exportação, recebe muitos apoios financeiros e políticos, enquanto os aquecedores solares de água são encontrados principalmente em áreas rurais e, portanto, recebem um tímido apoio do governo.

Em acréscimo, há um grande número de fatores que demarcam os rumos que cada uma das tecnologias solares tem tomado no decorrer dos anos, mas salientam a importância de utilização dessas tecnologias para reduzir o consumo de energia nos horários de pico. Segundo os autores, os principais fatores que caracterizam as dinâmicas que rodeiam a tecnologia solar fotovoltaica são o custo elevado e sua necessidade de manter-se ligada a rede de eletricidade, enquanto os aquecedores solares de água possuem um custo mais baixo e operam de forma descentralizada (URBAN; GEALL; WANG ,2016).

Urban, Geall e Wang (2016), afirmam que o aumento da participação da energia solar fotovoltaica na China, foi fruto das políticas de apoio de tarifas *Feed-In* e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) em toda a sua cadeia produtiva, além do governo chinês oferecer empréstimos e terras mais baratas, reduções de impostos, bolsas de pesquisas, subsídios de energia e suporte tecnológico, de infraestrutura e de pessoal aos produtores de energia fotovoltaica e para o uso doméstico, a criação de um programa de subsídio ao telhado. Segundo Urban, Geall e Wang (2016), a grande maioria dos incentivos para adoção de aquecedores solares de água são por meio dos governos locais, pois segundo especialistas a luz solar apresenta variabilidade nas regiões e esses sistemas já são tecnologias consideradas maduras, dispensando incentivos. Já Cardemil, Starke e Colle (2018), objetivaram apresentar uma metodologia para verificar os efeitos das políticas de incentivos que envolvem aquecedores solares no que tange a respeito de benefícios tanto para os usuários, como também para as concessionárias. Diante

disso, para as análises foram considerados um programa de descontos e um programa de implementação de tarifa por tempo de uso (CARDEMIL; STARKE; COLLE, 2018).

De acordo Cardemil, Starke e Colle (2018), usualmente as políticas de incentivos no mercado de aquecimento solar de água, são divididas em cinco tipos. Diante disso, percebe-se que o foco das políticas de incentivos varia de acordo com cada país, conforme exposto no Quadro 7.

Quadro 7. Tipos de políticas de incentivos

Tipos de Políticas	Países
Baseado na área do aquecedor solar	Alemanha, Áustria, Coréia
Desempenho do painel/sistema	Suécia, Holanda e Austrália
Créditos fiscais	França, EUA
Dedução Fiscal	Grécia
Instalação obrigatória	Israel, Espanha

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Cardemil, Starke e Colle (2018)

Esses são os países que mais se destacam quando se trata de políticas regulatórias de incentivos à aquecedores solares de água, pois lideram o mercado mundial dessa tecnologia. Para os autores, ainda não há como afirmar qual a política é mais satisfatória, pois não têm garantido uma diminuição no preço de mercado. No entanto, pontuam que para que aconteça de fato, a disseminação dos aquecedores solares de água em grande escala, o apoio governamental é imprescindível (CARDEMIL; STARKE; COLLE, 2018).

Segundo Cardemil, Starke e Colle (2018), um programa de descontos no custo inicial do sistema pode promover uma redução de 40% a 62% no consumo de eletricidade pelos usuários e, um programa de implementação de tarifa por tempo de uso possibilita uma variação da redução do consumo de eletricidade entre 40 e 60 kWh/ano nos horários de pico.

Os dois artigos apresentados neste item refletem sobre os desafios enfrentados na disseminação da tecnologia de aquecimento de água por fonte solar. Embora, haja um esforço dos países em estimular a adoção da tecnologia solar pelos usuários, percebe-se uma grande dificuldade de avaliação do desempenho de políticas já implantadas. Como visto, um planejamento a longo prazo, simplificação de políticas de descontos e diversificação de políticas de incentivos, são fatores fundamentais para que haja o desenvolvimento de mercado de aquecedores solares.

Considerações finais

Esta RBS permitiu verificar as publicações sobre a temática de sistemas solares de baixo custo para aquecimento de água, entre os anos de 2015 e 2019. Para a análise, os sete artigos aceitos foram classificados de acordo com a sua abordagem principal.

A categoria mais evidenciada foi a que envolveu artigos sobre a viabilidade técnico-econômica de aquecedores solares. Estudos que envolvem a combinação dos avanços técnicos e de benefícios econômicos, proporcionados por sistemas de aquecedores solares de água, permitem identificar variáveis que interferem na adoção desses sistemas pela população, auxiliando os agentes envolvidos no desenvolvimento, aprimoração ou modificação de estratégias de implantação, de melhoria dos sistemas e de decisões políticas. A categoria que compreendeu estudos de desempenho térmico de aquecedores solares, permitiu observar que existem poucas publicações que abordam sistemas de aquecimento solar de água de baixo custo. Percebeu-se a importância de estudos que verificam a necessidade de ajustes em sistemas de aquecimento solar de água em edifícios e residências, promovendo investigação de adaptação desses sistemas, a fim de melhorar a sua eficiência térmica de acordo com o perfil dos usuários.

Nessa perspectiva, a categoria que reuniu artigos sobre políticas para o aquecimento de água por fonte solar trouxeram reflexões sobre a importância do uso da energia solar para a redução do consumo de eletricidade em horários de pico, com o intuito de aliviar o sistema de geração e distribuição. Desta maneira, os artigos analisados nesta RBS, mostram um aumento de estudos voltados para a adoção da energia solar, apontando como um dos caminhos para mitigar as mudanças climáticas. Observou-se também, que os artigos que envolveram populações carentes em seu contexto, foram estudos desenvolvidos por países em desenvolvimento e que quatro desses países, integram o BRICS⁴. Ressalta-se que embora a maioria das publicações selecionadas na primeira etapa, não abordaram o foco principal de análise, verificou-se que os artigos apresentaram uma preocupação significativa com o uso de fontes renováveis, com o planejamento energético e com a diminuição dos impactos ambientais. No entanto, nota-se uma ausência de estudos que evidenciam a temática de aquecimento solar de água de baixo custo para residências, o que influencia diretamente na carência de tecnologias sociais que venham ao encontro das necessidades das comunidades mais carentes.

Assim, considera-se que ainda há muito a se explorar sobre a temática pesquisada, já que ações que visam potencializar o acesso as tecnologias para aquecimento solar de água de baixo custo, podem permitir uma melhor qualidade de vida à população carente e contribuir para o desenvolvimento social.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na forma de fomento em projeto de pesquisa (Processo 443525/2018-8 - Edital Tecnologia Social) e bolsa de produtividade em pesquisa (Processo 315228/2020-2).

⁴ BRICS é o agrupamento formado por cinco grandes países emergentes - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

Referências

BARBOSA, Eloiny G. et al. Influence of the absorber tubes configuration on the performance of lowcost solar water heating systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, n. 22-28, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.020>>. Acesso em: 22 out. 2019.

BIOLCHINI, Jorge C. A et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v.21, n.2, p.133-151, 2007. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

CARDEMIL, Jose M., STARKE, Allan R., COLLE, Sergio. Multi-objective optimization for reducing the auxiliary electric energy peak in low cost solar domestic hot-water heating systems in Brazil. **Solar Energy**, v. 163, p. 486-496, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.008>>. Acesso em: 22 out. 2019.

CHOUERI, Matheus et al. Emprego de aquecedores de água de baixo custo para realização da rotina higiênica em ordenha manual de leite bovino. **Revista Científica ANAP Brasil**, v.4, p.20-29, 2013.

CONFORTO, Edivandro C., AMARAL, Daniel C., SILVA, Sérgio L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projeto. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto – CBGDP, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, RS, 2011.

CUNHA, Angélica C. et al. Influence of the estimated global solar radiation on the reference evapotranspiration obtained through the Penman-Monteith FAO 56 method. **Agricultural Water Management**, v. 243, p. 106491, 2021. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106491>>. Acesso em: 01 set. 2021.

CUNHA, Angélica C. et al. Performance and estimation of solar radiation models in state of Minas Gerais, Brazil. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, p. 603-622, 2021. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s40808-020-00956-x>>. Acesso em: 01 set. 2021.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Termografia de aquecedores solares compostos por materiais reutilizáveis e correlação entre irradiância e temperatura. **Energia na Agricultura**, v. 34, p.406-417, 2019.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Avaliação do conforto térmico de aquecedores solares compostos por embalagens reaproveitáveis utilizando modelos de regressão polinomial. **Energia na Agricultura**, v.31, p.273-281, 2017.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Variable analysis in wind photovoltaic hybrid systems in rural energization. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 12, p. 4757-4761, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1109/TLA.2016.7817007>>. Acesso em: 01 set. 2021.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Análise da viabilidade econômica de sistemas de aquecedores solares compostos por embalagens recicláveis para utilização em comunidades rurais de baixa renda. **Energia na Agricultura**, v.28, p.222-228, 2014.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Promoção do uso de aquecedor solar de água de baixo custo para as populações rural e urbana de baixa renda da região da Alta Paulista. **Revista Ciência em Extensão**, v.9, n.3, p.61-71, 2013.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n.4, p. 650-662, 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400004>>. Acesso em: 01 set. 2021.

GABRIEL FILHO, Luís R. A. et al. Caracterização analítica e geométrica da metodologia geral de determinação de distribuições de Weibull para o regime eólico e suas aplicações. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 56-66, 2011. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100006>>. Acesso em: 01 set. 2021.

GAUTAM, Abhishek et al. A review on technical improvements, economic feasibility and world scenario of solar water heating system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, part 1, p. 541-562, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.104>>. Acesso em: 22 out. 2019.

JUANICÓ, Luis, DILALLA, Nicolás. The pulsed-flow design: A new low-cost solar collector. **Renewable Energy**, v. 87, part 1, p. 422-429, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.042>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

MORAES, E. C. S, SOUZA, T. M., BALESTIERI, J. A. P. Technical and economic feasibility of the use of solar thermal energy in condominiums with popular dwellings. **Renewable Energy and Power Quality Journal**. v. 1, p. 132-134, 2015.

NASPOLINI, Helena F., RÜTHER, Ricardo. Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 92-99, 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.046>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

NAZARÉ, Gonçalo, CASTRO, Rui, GABRIEL FILHO, Luís R. A. Wind power forecast using neural networks: Tuning with optimization techniques and error analysis. **Wind**

Energy, v. 23, p. 810-824, 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.1002/we.2460>>. Acesso em: 01 set. 2021.

SANTOS, Bruno C., COSTA FILHO, Antônio F., NICHIOKA, Júlio. BENCHMARKING: Políticas públicas de incentivo a geração de energia fotovoltaica. **Rev. Episteme Transversalis**, v.10, n.1, p.386-408, 2019. Disponível em: <<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/1308/1044>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

SERAPHIM Odivaldo J. et al. Energetic Exploitation from a Hybrid PV-wind Power Micro-generation Rural Electrification. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1475-1484, 2014. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.092>>. Acesso em: 01 set. 2021.

TWITE, Monga et al. Development of a large-area, low-cost solar water-heating system for South Africa with a high thermal energy collection capacity. **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 30, n. 1, p. 49-59, 2019.

URBAN, Frauke, GEALL, Sam, WANG, Yu. Solar PV and solar water heaters in China: Different pathways to low carbon energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 64, p. 531-542, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.023>>. Acesso em: 22 out. 2019.

WANG, Zhangyuan et al. Comprehensive review on the development of SAHP for domestic hot water. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 871-881, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.127>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

WANG, Zhangyuan et al. Solar water heating: From theory, applications, marketing and research. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 68-84, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.026>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

YU, Rui et al. Investigation and Modelling of the Centralized Solar Domestic Hot Water System in Residential Buildings. **Procedia Engineering**, v. 146, p. 424-430, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.424>>. Acesso em: 22 out. 2019.