

Eixo Temático ET-06-004 - Energia

## PEGADA DE CARBONO ASSOCIADA A UM NOVO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Daniel de Paula Diniz<sup>1</sup>, José Felismino Neto<sup>1</sup>, Rafaela Ramos Barbosa<sup>2</sup>, Monica Carvalho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. danieldiniz@cear.ufpb.br, neto.felismino@cear.ufpb.br; <sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. rafaela.barbosa@cear.ufpb.br; <sup>3</sup>Departamento de Eng. de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. rafaela.barbosa@cear.ufpb.br.

### RESUMO

Alternativas para baixar custos e diminuir os impactos ambientais associados à fabricação dos equipamentos que utilizam energia solar para aquecimento de água tem ganho muita força recentemente. Já existe uma movimentação mundial pela conscientização dos consumidores, que demanda informação ambiental associada aos mais diversos segmentos. Este trabalho propõe uma alteração no reservatório térmico de um sistema de aquecimento solar de água, objetivando diminuir os custos de fabricação e também os impactos ambientais associados. Os estudos dos impactos ambientais associados a sistemas de energias renováveis estão ganhando força pelo crescimento do mercado e pela conscientização ambiental. Este trabalho quantifica as emissões de gases de efeito estufa (pegada de carbono) associadas ao novo sistema proposto e as compara a um sistema tradicional. A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida foi aplicada, utilizando-se o software SimaPro 8.5.2.0, base de dados Ecoinvent, e método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a. Como resultado foi encontrado que o sistema proposto possui uma pegada de carbono de 65,20 kg CO<sub>2</sub>-eq, inferior ao sistema tradicional que é de 106 kg CO<sub>2</sub>-eq. Conclui-se que o sistema de aquecimento proposto é mais econômico em função da diminuição da quantidade de aço utilizado, além de apresentar um menor impacto ambiental como demonstrado pela pegada de carbono. Ainda é cedo para estabelecer um valor monetário para os benefícios ambientais obtidos, mas demonstrou-se aqui um claro potencial para mitigação de mudanças climáticas por meio de emissões evitadas.

**Palavras-chave:** Pegada de Carbono; Energia solar; Sistema de Aquecimento Solar de Água; Avaliação de Ciclo de Vida.

### INTRODUÇÃO

A crescente conscientização da importância do meio ambiente tem sido um incentivo ao estudo de novas fontes energéticas que sejam renováveis e que agridam menos o meio ambiente. Processos de conversão de energia e utilização ineficiente da energia secundária estão entre os principais responsáveis pelas emissões excessivas de gases de efeito estufa. Como solução mitigadora, tem-se elevado a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética mundial. Dentre as energias renováveis, a energia solar destaca-se por ser perene e limpa (ALBUQUERQUE; MALDONADO; VAZ, 2017).

A incidência solar abundante do Brasil e sua insolação pode ser comparada às regiões desérticas do mundo (TIBA, 2000). Esse potencial energético pode ser aproveitado pelas

tecnologias já conhecidas de aproveitamento da luz sol para geração de eletricidade ou para o aquecimento de água.

A descarbonização da energia pode incluir a substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis (DINIZ et al., 2018). No Brasil, comprovou-se benefício ambiental como consequência da introdução da geração com utilização de energias renováveis, a exemplo da energia solar fotovoltaica, no mix elétrico brasileiro. (DELGADO; CARVALHO, 2018).

Sistemas de aquecimento solar (SAS) são caracterizados pelo emprego de equipamentos capazes de realizar o aproveitamento térmico da radiação solar incidente. Em aplicações residenciais e comerciais este tipo de sistema pode contribuir com diminuições significativas na demanda de energia do sistema elétrico (BARBOSA; CARVALHO, 2018).

Diversos trabalhos vem sendo realizados com o intuito de otimizar os custos da fabricação e da instalação de sistemas de aquecimento de água, tanto para uso residencial como industrial (LIMA, 2003; BARBOSA, 2018; DINIZ et al, 2018). Utilizar materiais alternativos ou alterar as configurações de sistemas já consolidados são maneiras de melhorar a eficiência e também de diminuir os impactos ambientais associados ao sistema instalado. A utilização de aquecimento solar em processos industriais se mostrou eficiente tanto na questão energética como na ambiental (BARBOSA; CARVALHO, 2018). Materiais alternativos também vem sendo pesquisados em coberturas seletivas dos painéis solares (MENEZES et al, 2017). A integração de mais de uma fonte energética tem mostrado resultados positivos (SOUZA et al, 2017).

Ferramentas de análise estão atualmente buscando não somente uma visão financeira, mas também uma consideração do ciclo que inclui extração, produção/manufatura, operação, manutenção, até o descarte final (CARVALHO; CARVALHO, 2016). Com isso, as tomadas de decisões que antes se baseavam exclusivamente em critérios econômicos, passam agora a incluir também os critérios ambientais. Na busca por produtos e processos mais eficientes, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) se mostra como uma metodologia validada e consolidada para cálculo de impactos ambientais (GUINÉE, 2001; GUINÉE, 2002; COLTRO, 2007; KLÖPFER, 2012). Por exemplo, utilizando a ACV foi mostrado que coletores solares industrializados para aquecimento de água para utilização em residências possuem um menor impacto ambiental do que sistemas alternativos, que utilizam garrafa PET e embalagens descartáveis (ARANTES, 2008). A metodologia da ACV vem sendo progressivamente utilizada em estudos sobre a questão energética em processos industriais (BARBOSA, 2018; DINIZ et al, 2018) como também nas questões ambientais (ARAUJO et al, 2018; ARAUJO et al, 2017). Aplicativos para a quantificação da Pegada de Carbono vem sendo desenvolvidos para uma maior visibilidade do assunto (FIQUEIREDO et al, 2017; FIQUEIREDO et al, 2018).

O presente estudo analisa as vantagens associadas a um sistema de aquecimento de água onde o reservatório térmico foi modificado. A diferença do reservatório térmico proposto do tradicional consiste na diminuição da espessura da parede de aço inox e da inclusão de tubos de cobre.

## **OBJETIVO**

Calcular a pegada de carbono associada a uma nova proposta para aquecimento solar de água, e comparar com um sistema tradicional (comercialmente disponível) de aquecimento solar para água.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Avaliação de Ciclo de Vida**

A metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi utilizada neste trabalho, seguindo os padrões conceituais estabelecido nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio das NBR 14040 (ABNT, 2014a) e 14044 (ABNT, 2014b), que são as versões traduzidas das normas internacionais da *International Organization for*

*Standardization* (ISO 14040; 2006; ISO 14044, 2006) . A ACV pode ser aplicada a produtos, processos ou atividades, e pode abranger todo o ciclo de vida do mesmo, levando em consideração a retirada da matéria-prima, processos sofrido durante sua fabricação, uso, e demais condições sofridas após uso, até o descarte final (GUINÉE, 2001; GUINÉE, 2002). O estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é formado por quatro etapas, que são (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b): definição do objetivo e escopo do estudo, análise de inventário, avaliação dos impactos e a fase de interpretação dos resultados. Inicialmente é definido o escopo de uma ACV, que função do objeto de estudo e da finalidade do mesmo. É necessário delimitar uma fronteira ainda na fase inicial, pois a análise do que se entra através da fronteira e do que sai dela é chamada de análise de inventário, essa é a segunda fase da ACV, onde são contabilizados os dados de entrada e saída. Na terceira fase, são adicionadas informações extras para melhor entendimento do resultado. E na última fase tem-se a interpretação dos resultados e que são analisados e comparados no que foi estabelecido.

A avaliação e interpretação dos resultados de ACV podem ser direcionadas à identificação de melhorias em relação ao desempenho ambiental dos produtos nas diferentes etapas dos seus ciclos de vida, na informação aos fabricantes e ainda na escolha de indicadores de performances ambientais dos produtos.

Devido ao potencial de aplicação em diferentes atividades e setores, é importante que os resultados de ACV sejam claros para garantir auxílio bem direcionado e coerente à tomada de decisões decorrente dos resultados do estudo. Deve-se ter cautela na escolha dos métodos utilizados para a realização de uma ACV, incluindo-se aí, principalmente, os métodos de avaliação de impactos, etapa na qual se insere no estudo um nível de incerteza e subjetividade acerca da adaptação dos resultados do inventário a valores de impacto ambiental (SAAD et al., 2014).

O *software* SimaPro® versão 8.5.2.0 (SIMAPRO, 2018) foi utilizado para desenvolvimento da ACV, juntamente com a base de dados Ecoinvent (2018).

Como a pegada de carbono está intimamente relacionada ao uso da energia e o interesse público nas mudanças climáticas é elevado, este indicador é adequado para comunicar resultados de estudos de ACV, com grande popularidade e aceitabilidade (DELGADO; CARVALHO, 2018). A pegada de carbono é um indicador internacionalmente normatizado que agrupa as emissões de gases de efeito estufa (GEE), e que foi calculada selecionando-se o método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013). Para a verificação de efeitos cumulativos, foi utilizado um horizonte de 100 anos (IPCC, 2013).

Nesse estudo, a ACV foi aplicada a um reservatório térmico que foi modificado para funcionar como um trocador de calor, e em seguida comparou-se com a pegada de carbono obtida para um sistema tradicional.

### **Sistema de aquecimento solar de água**

**Sistema tradicional.** O *boiler*<sup>1</sup> tradicional possui 200 litros de capacidade e é construído em aço inox, de 1 mm de espessura, com dimensões 1,40m x 0,65 x 0,58 (comprimento/altura/largura).

**Proposta de um novo sistema de aquecimento solar de água.** Esse estudo refere-se a um novo sistema de aquecimento de água, que ainda é baseado no sistema tradicional, mas são aplicadas modificações no *boiler*. Tais modificações incluem a instalação de tubos de cobre em seu interior, que será responsável por receber a água vinda do sistema de abastecimento público ou da caixa de água da residência, sem que ocorra a mistura da água fria com a água quente que foi aquecida ao passar pelo coletor solar plano (Figura 1).

---

<sup>1</sup> reservatório térmico



**Figura 1.** Reservatório térmico modificado.

A configuração proposta do *boiler* permite classificá-lo como um trocador de calor casco e tubo. Tal modificação também implicará em mudanças estruturais que permitirão reduzir a espessura do tanque interno (de aço inox) do boiler. Essa diminuição da espessura do tanque é possível devido a transferência da pressão da água da rede pública de abastecimento, que antes exercia sua força sobre as paredes internas do reservatório térmico, para os tubos de cobre instalados no interior do reservatório térmico.

Considerando um sistema de aquecimento de água (*boiler*, coletor plano, tubos e conexões), considerou-se que a água vinda da rede pública entra no boiler a uma temperatura de 30 °C e sai do reservatório para o cliente a 48 °C. Também foi adotado que a temperatura de saída da água do coletor é 65 °C e que a temperatura da água vinda do boiler para o coletor depois de algumas horas de funcionamento seja de 50 °C.

Com a instalação dos tubos de cobre no boiler, pode-se diminuir a espessura da chapa de aço inox de 1 mm para a próxima espessura comercialmente mais fina que é 0,5 mm. O trocador de calor proposto consiste em um tanque de igual capacidade ao tradicional, em aço inox, com espessura de 0,5 mm e 10 tubos de cobre de diâmetro 12,7 mm e espessura 0,40 mm, cada tubo possui comprimento de um metro e considerou-se que 0,138 kg/m de tubo (Figura 2).



**Figura 2.** Tubos de cobre do reservatório modificado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema tradicional de aquecimento de água constitui-se de um tanque inox descrito na seção 3.2.1, totalizando 20,3708 kg de aço inox. A composição material do novo sistema de aquecimento solar de água está disposta na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição material do novo sistema de aquecimento solar de água.

Material	Peso (kg)
Aço inox	10,1854
Tubos de cobre	1,38

Inserindo os dados materiais de ambos sistemas de aquecimento solar no *software* SimaPro, obtém-se os valores de suas pegadas de carbono, mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Pegadas de carbono associadas a sistemas de aquecimento solar de água.

Sistema tradicional	Aço inox (106,07 kg CO <sub>2</sub> -eq)
Novo sistema	Aço inox (53,5 kg CO <sub>2</sub> -eq) + Cobre (12,41 kg CO <sub>2</sub> -eq) = 65,20 kg CO <sub>2</sub> -eq

Observa-se que no novo sistema, mesmo apresentando um componente metálico a mais (tubos de cobre), ainda assim apresenta uma pegada de carbono (65,20 kg CO<sub>2</sub>-eq) inferior ao sistema tradicional (106 kg CO<sub>2</sub>-eq). Esse resultado positivo se dá em função da redução de espessura do tanque de aço inox.

Se relacionarmos esses resultados em um patamar nacional, utilizando como exemplo programas de moradias unifamiliares do governo federal, no qual existe uma obrigatoriedade nas construções de casas com sistema de aquecimento solar de água, nos últimos 7 anos foram entregues mais de 2,6 milhões de casas (BRASIL, 2018), encontramos um valor de 106 t CO<sub>2</sub>-eq.

Comprova-se aqui a preliminar viabilidade ambiental, desde um ponto de vista da pegada de carbono, do novo sistema de aquecimento solar proposto. Este trabalho é parte de um projeto mais amplo, que inclui uma dissertação de mestrado e trabalhos futuros incluem a verificação da viabilidade técnica, considerando-se a eficiência da troca térmica.

Há bastante discussão atualmente sobre a responsabilidade das gerações atuais com a natureza, para que futuras gerações possam desfrutar de um maio ambiente similar ao de hoje em dia. Existem diversos esforços encaminhados a esse objetivo, e a quantificação de impactos ambientais tem contribuído a orientar nesse sentido. Ainda é cedo para estabelecer um valor monetário para os benefícios ambientais obtidos, mas demonstrou-se aqui um claro potencial para mitigação de mudanças climáticas por meio de emissões evitadas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pelo desenvolvimento sustentável tem encorajado pesquisadores a encontrar novos materiais e novas formas de utilização das tecnologias já existentes. Uma das formas é propondo alterações na fabricação de equipamentos com o intuito de diminuir o impacto ambiental em seu ciclo de vida.

Esse trabalho quantificou a pegada de carbono associada a dois sistemas de aquecimento solar de água. Demonstrou-se aqui que o sistema de aquecimento proposto pode se tornar mais econômico em função de modificações estruturais, além de apresentar um menor impacto ambiental como indicado pela pegada de carbono. Demonstrou-se aqui um claro potencial para mitigação de mudanças climáticas por meio de emissões evitadas.

As empresas que adotarem a análise ambiental, evidenciando sua preocupação com o meio ambiente, após quantificarem os impactos ambientais gerados e se comprometendo com sua redução, estarão de forma direta agregando valor ao seu produto ou serviço.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade nº303199/2015-6.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. C.; MALDONADO, M. U.; VAZ, C. R. Um Levantamento da Produção Intelectual sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 5, 2017.
- ARANTES, L. O. **Avaliação comparativa do ciclo de vida entre sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.
- ARAUJO, Y. R. V.; SOARES, H. C. C.; COELHO JUNIOR, L. M.; CARVALHO, M. Geração de Energia dos Resíduos da Arborização Urbana de João Pessoa - PB. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos. Epersol, 2018, Recife. Anais do Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, Epersol, 2018.
- ARAUJO, Y. R. V.; GOIS, M. L.; COELHO JUNIOR, L. M.; CARVALHO, M. Pegada de carbono para quatro cenários dos resíduos da arborização urbana de João Pessoa - PB. In: IV Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, 2017, Recife. Anais do IV Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, 2017.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.
- BARBOSA, R. R.; CARVALHO, M. Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água para aplicações industriais. **Engevista**, v. 20, p. 214-238, 2018.
- BRASIL. Infraestrutura. Em sete anos, Minha Casa Minha Vida entrega mais de 1000 casas por dia. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2016/03/em-sete-anos-minha-casa-minha-vida-entrega-mais-de-1-000-casas-por-dia>>. Acesso em: 16 ago 2018.
- CARVALHO, B. T.; CARVALHO, M. Sustentabilidade no Planejamento no Fornecimento de Energia: Avaliação do Ciclo de Vida como Consideração Inicial. ANAIS CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, v. 1, p. 1, 2016.
- COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Centro de Tecnologia de Embalagens. Instituto Técnico de Alimentação. CETEA/ITAL. 75 p. Campinas, 2007.
- DELGADO, D. B. M.; CARVALHO, M. . Pegada de carbono do mix elétrico do nordeste brasileiro. In: VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018, Brasília. Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018.
- DINIZ, D. P. Potencial de Mitigação de Mudanças Climáticas Associado à Energia Solar Térmica nas Indústrias de Sorvetes da Paraíba, 2018, João Pessoa. Anais da Conferência da Terra, 2018.

ECOINVENT. The ecoinvent database 3.4. (2018). Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

FIGUEIREDO, J. N.; CAVALCANTI, G. C. D.; FREIRE, R. S.; CARVALHO, M. Desenvolvimento Conceitual de um Aplicativo para Quantificação de Pegada de Carbono em Edifícios Públicos. In: V Congresso Nacional de Educação Ambiental, 2017, João Pessoa. Anais do V Congresso Nacional de Educação Ambiental, 2017.

FIGUEIREDO, J. N.; CARVALHO, M.; CAVALCANTI, G. C. D.; FREIRE, R. S.. Desenvolvimento conceitual de aplicativo para quantificação de pegada de carbono. In: VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018, Brasília. Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018.

GUINÉE, J. B. (ed.). Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISSO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards.** Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

ISO 14040 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Genebra: ISO, 2006.

ISO 14044 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Genebra: ISO, 2006.

KLÖPPFER, W. The critical review life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-7. 2012.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistemas solares de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MENEZES, V.; GOMES, K. C.; MEDEIROS, I.; CARVALHO, M. Desempenho Ambiental dos Processos de Fabricação dos Coletores Solares de Média e Alta Temperatura a Base de Superfícies Seletivas de CrxO. In: 13º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, 2017, Lisboa. Anais do 13º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, 2017.

SAAD, M. R. M.; SILVA, M. G.; GOMES, V. A Avaliação do Ciclo de Vida - ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza on line**, v. 12, n. 3, p. 109-116, 2014.

SIMAPRO Software. 2018. Disponível em: <<http://www.simapro.nl/>>. Acesso em: 10 set. 2018.

SOUZA, I. S. N.; CHAVES, A. F. F.; CARVALHO, M. Cargas Ambientais Associadas a um Protótipo de Bomba de Calor para Desumidificação e Aquecimento do Ar. In: V Congresso Nacional de Educação Ambiental, 2017, João Pessoa. Anais do V Congresso Nacional de Educação Ambiental, 2017.

TIBA, C. et al. (Coord.). **Atlas Solarimétrico do Brasil:** Banco de dados solarimétrico. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.