



Comparação econômico-ambiental entre coletores solares do tipo placa plana e tubo evacuado

Ronaldo Hoffmann¹, Michel Brondani¹, Felipe Pappis¹, André Friderichs¹

¹Universidade Federal de Santa Maria (hoffmann@uol.com.br)

Resumo

Este trabalho apresenta uma comparação ambiental do processo de fabricação de coletores solares do tipo placa plana e tubo evacuado, aliado a uma avaliação econômica de sua aquisição e operação. A ferramenta ambiental utilizada foi a Analise do Ciclo de Vida (ACV) por meio do software SimaPro® 7.3.2 baseada na norma ISO 14040, enquanto que a análise econômica se baseou em orçamentos de aquisição e operação. Os resultados mostram que o impacto ambiental causado pela fabricação do coletor solar do tipo placa plana é maior, enquanto que para o coletor do tipo tubo evacuado, os custos são mais elevados.

Palavras-chave: Coletor solar, ACV, Viabilidade econômica.

Área Temática: Tecnologias Limpas

Abstract

This study presents an environmental comparison of evacuated tube and flat plate solar collector manufacturing process, combined with an economic evaluation of its acquisition and operation. The environmental tool used was the Life Cycle Assessment (LCA) through the software SimaPro® 7.3.2 based on standard ISO 14040, while the economic analysis was based on acquisition and operating budgets. The results show that the environmental assessment caused by the manufacturing of the flat plate solar collector is larger, while the evacuated tube collector the costs are more expensive.

Key words: Solar collector, LCA, Economic Viability.

Theme Area: Clean Technologies



1 Introdução

O crescimento industrial e populacional intensificou a utilização dos recursos energéticos, tanto para satisfazer as mais diversas necessidades, como para a produção de riquezas, mas também para proporcionar conforto e melhor qualidade de vida.

A demanda energética atual é suprida em sua maior parte por fontes não-renováveis, como o petróleo e o carvão. No entanto, características dessas fontes como seu caráter finito e, em especial para o petróleo, a instabilidade de preço, têm preocupado a comunidade mundial.

Além disso, o perfil de emissão para a atmosfera de materiais como dióxido e monóxido de carbono, dióxido de enxofre e materiais particulados, da produção e uso das mesmas é preocupante, pois acentua problemas ambientais tais como efeito estufa, chuva ácida, dentre outros.

Neste contexto, o aproveitamento das fontes renováveis de energia, como a energia solar, eólica, biomassa, entre outras, apresenta-se com uma alternativa promissora no enfrentamento dos desafios energéticos e na minimização dos impactos ambientais. Segundo Michels (2008), o uso direto de energia solar apresenta um grande interesse econômico, além de contribuir para mitigação de gases de efeito estufa.

A energia solar desponta como uma das mais promissoras fontes renováveis por ser possível utilizá-la tanto como fonte de energia térmica, através da radiação solar, quanto para a geração de potência mecânica ou elétrica.

Neste sentido, este trabalho visa avaliar e comparar a geração de impactos ambientais, decorrentes da produção das placas coletoras planas e de tubos evacuados afim de verificar a possibilidade de implantação de um sistema de aquecimento solar no aquecimento de água para piscinas. Este sistema pretende substituir parcialmente o uso de óleo combustível no aquecimento de água das piscinas do Centro Educação Física e Desporto (CEFD) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Além dos dois tipos mencionados, também foram avaliados coletores solares de PVC e um modelo produzido localmente cuja estrutura possui placas de alumínio justapostas e paralelas espaçadas com aproximadamente 3 milímetros, o qual é preenchido pela água. No entanto, não serão apresentados resultados no presente artigo para tais coletores.

A avaliação se baseia em um estudo ambiental por meio da Análise do Ciclo de Vida (ACV) do processo de fabricação das placas coletoras, do tipo plana e de tubos evacuados, em paralelo com um estudo de viabilidade econômica.

2 Metodologia

Para a análise ambiental, a ferramenta utilizada foi a Análise do Ciclo de Vida por meio da utilização do software SimaPro® 7.3.2, o qual tem incluso o banco de dados Ecoinvent 2.2. As etapas do ciclo de vida foram baseadas na norma ISO 14040, a qual regulamenta e apresenta as etapas necessárias para sua realização. As fases são divididas em quatro partes principais, as quais são: objetivo e escopo; análise do inventário; avaliação do impacto e interpretação dos resultados.

Os coletores solares de placas planas tem suas características de produção especificadas na Tabela 1, as quais constam no banco de dados Ecoinvent 2.2.



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Tabela 1 - Propriedades do processo de fabricação de coletores de placa plana

Materials/fuels	Amount	Unity
Electricity, medium voltage, at grid/CH U	1,16	kWh
Tap water, at user/RER U	9,4	kg
Water, completely softened, at plant/RER U	1,38	kg
Solar collector factory/RER/I U	2E-07	p
Rock wool, packed, at plant/CH U	2,43	kg
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/CH U	3,68	kg
Solar glass, low-iron, at regional storage/RER U	9,12	kg
Synthetic rubber, at plant/RER U	0,732	kg
Silicone product, at plant/RER U	0,0588	kg
Propylene glycol, liquid, at plant/RER U	1,01	kg
Aluminium, production mix, wrought alloy, at plant/RER U	3,93	kg
Brazing solder, cadmium free, at plant/RER U	0,00368	kg
Soft solder, Sn97Cu3, at plant/RER U	0,0588	kg
Copper, at regional storage/RER U	2,82	kg
Chromium steel 18/8, at plant/RER U	4,14	kg
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	95,5	tkm
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	1,4	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	11,7	tkm
Transport, freight, rail/RER U	16,8	tkm
Selective coating, copper sheet, black chrome/RER U	1	m2
Anti-reflex-coating, etching, solar glass/DK U	1	m2
Sheet rolling, copper/RER U	2,82	kg
Heat, waste	4,16	MJ
Disposal, building, glass sheet, to sorting plant/CH U	9,12	kg
Disposal, building, mineral wool, to sorting plant/CH U	2,43	kg
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	0,79	kg
Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration/CH U	3,68	kg
Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,0094	m3
Treatment, heat carrier liquid, 40% C3H8O2, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,00239	m3

Já os coletores solares com tubos evacuados tem suas características de produção dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades do processo de fabricação de coletores de tubos evacuados

Materials/process	Amount	Unity
Electricity, medium voltage, at grid/GB U	17	kWh
Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U	16,5	MJ
Tap water, at user/RER U	53,6	kg
Water, completely softened, at plant/RER U	0,9	kg
Solar collector factory/RER/I U	0,0000002	p
Chemicals organic, at plant/GLO U	0,0113	kg
Hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant/RER U	0,113	kg
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	3,33	kg



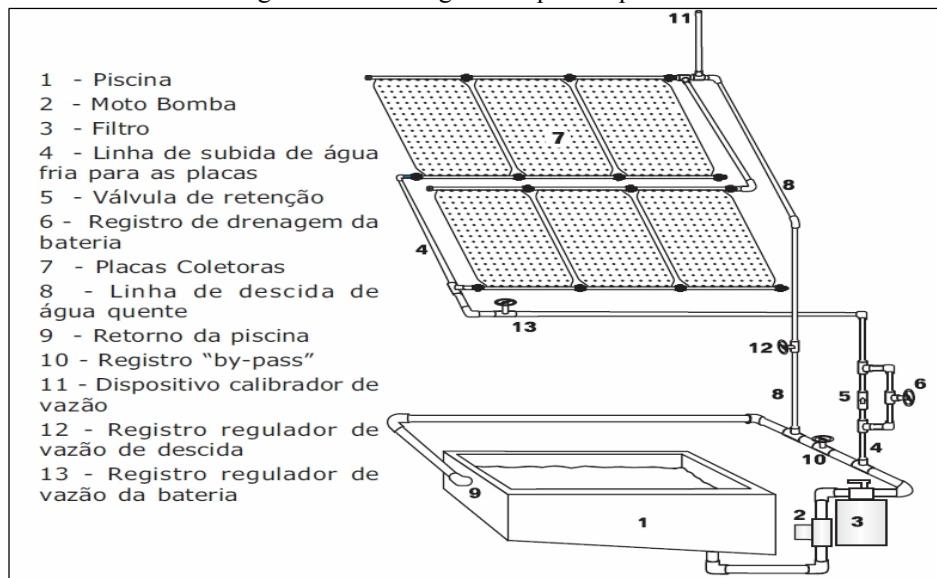
3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Glass tube, borosilicate, at plant/DE U	14,2	kg
Synthetic rubber, at plant/RER U	0,667	kg
Rock wool, packed, at plant/CH U	2,03	kg
Silicone product, at plant/RER U	0,0533	kg
Copper, at regional storage/RER U	2,8	kg
Brazing solder, cadmium free, at plant/RER U	0,1	kg
Propylene glycol, liquid, at plant/RER U	0,654	kg
Chromium steel 18/8, at plant/RER U	4	kg
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	16,8	tkm
Transport, freight, rail/RER U	16,8	tkm
Selective coating, copper sheet, physical vapour deposition/DE U	1	m2
Anti-reflex-coating, etching, solar glass/DK U	1	m2
Sheet rolling, copper/RER U	2,8	kg
Heat, waste	61,3	MJ
Disposal, building, glass sheet, to sorting plant/CH U	14,2	kg
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	0,72	kg
Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration/CH U	3,33	kg
Disposal, building, mineral wool, to sorting plant/CH U	2,03	kg
Treatment, heat carrier liquid, 40% C3H8O2, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,00155	m3
Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/CH U	0,0284	kg
Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	0,68	kg
Disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,227	kg
Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,0442	m3

Para a análise econômica deve-se avaliar todo sistema de implantação, esquema apresentado na Figura 1, pois para cada tipo de placa a quantidade de equipamentos e suas especificações podem variar, o que acarreta em um custo global diferente de apenas as próprias placas.

Figura 1 - Sistema genérico para as piscinas



Fonte: Serafini (2009)



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

A avaliação econômica está baseada nos custos iniciais de instalação e nos custos operacionais do sistema de aquecimento solar. No entanto, a análise ambiental é focada somente no impacto ambiental gerado na fabricação das placas coletoras, pois na operacionalidade de ambas, os impactos são semelhantes e, portanto, a diferença foi considerada desprezível.

Nos custos iniciais, não está contabilizado o sistema de fixação das placas e os custos com frete e mão-de-obra, mas adicionou-se um percentual extra de 10% para outros custos e gastos eventuais.

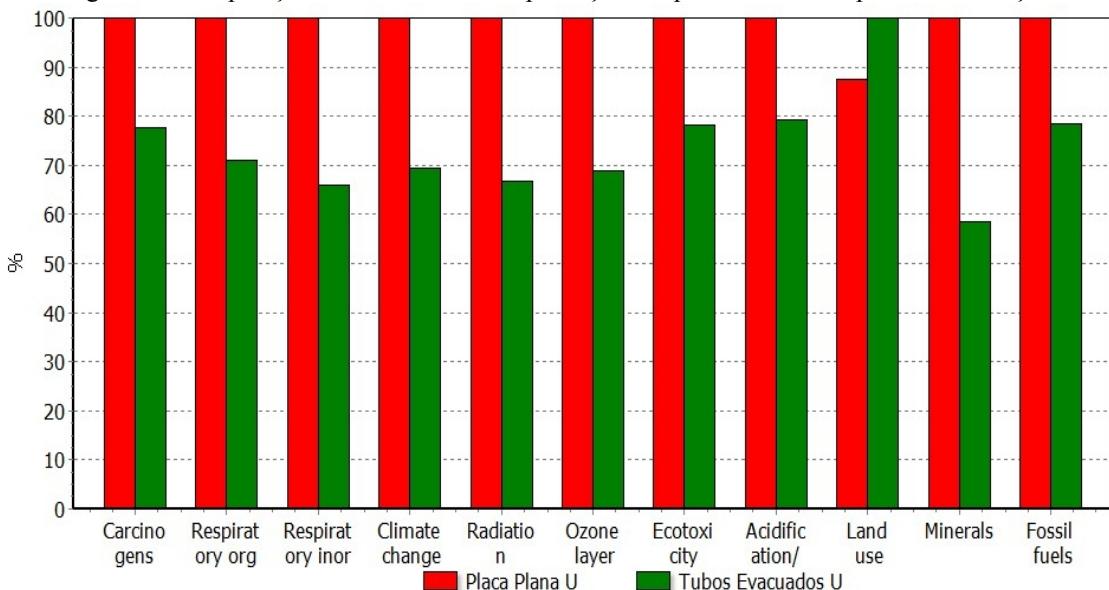
Os custos operacionais são baseados no consumo de energia elétrica pelo sistema de bombeamento dos coletores e em gastos com manutenção, que consistem em limpezas nos tubos para remover poeiras e sujidades que prejudicariam a absorção de radiação.

3 Resultados e Discussões

Análise ambiental:

A Figura 2 mostra o resultado gerado pelo SimaPro® de acordo com o método de avaliação de impacto escolhido (Eco-Indicador 99). Analisando os resultados descritos pela Figura 2, é possível perceber que dentre as 11 categorias de impacto, a placa coletora do tipo plana causa maiores danos, sendo responsável por maiores problemas em 10 categorias. A única categoria de impacto em que este tipo de placa representa menor dano ambiental é na categoria *land use* (uso da terra).

Figura 2 - Comparação do ciclo de vida da produção das placas coletoras por caracterização



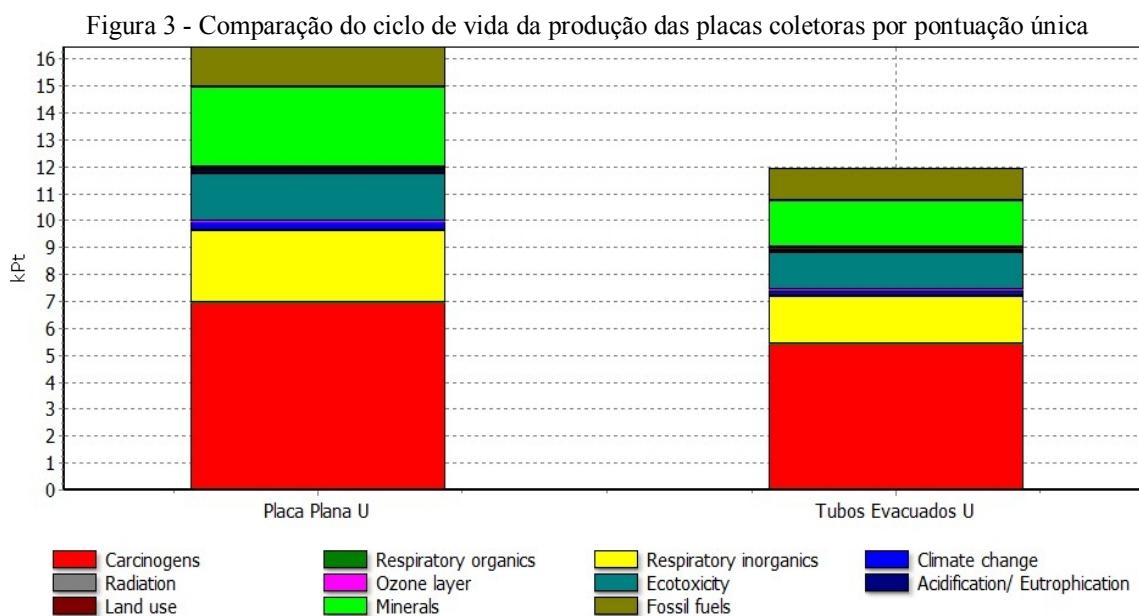
A comparar 1 p 'Placa Plana U' com 1 p 'Tubos Evacuados U'; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E / Caracterização

Após realizar a comparação do processo fabril de ambas, na Figura 3 é mostrado a categoria que causa maior impacto na produção individual de cada placa coletora, com o intuito de quantificar as diferentes fontes poluidoras. Verifica-se que a principal categoria geradora de impacto ambiental é a carcinogênica em ambas as placas. Já a segunda classe mais poluente não é a mesma nos dois tipos de coletores solares, sendo os minerais para os de placa plana e a respiração inorgânica para os coletores de tubos evacuados.



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012



A comparar 1 p 'Placa Plana U' com 1 p 'Tubos Evacuados U'; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E / Pontuação única

Análise econômica:

As Tabelas 3 e 4 e as Tabelas 5 e 6 apresentam os custos de aquisição e operação das placas coletores planas e de tubos evacuados, respectivamente, para um mesmo desempenho.

Tabela 3 - Custos de aquisição: coletor de placa plana

Item	Unidades	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Placas com conexões e fixação	450	183,56	82.600,00
Controller com termostatos	1	700,00	700,00
Bomba de circulação	2	350,00	700,00
Válvulas	10	30,00	300,00
Tubulações de 6m (2")	17,5	30,00	525,00
Isolamento para tubulação	105	2,50	262,50
Conexões	60	1,25	75,00
Isolamento placas: Poliestireno expandido	450	5,00	2.250,00
Extras: Percentual do total	10%	8741,25	8.741,25
Total			96.153,75

Fonte: adaptado de Serafini (2009)

Tabela 4 - Custos de operacionais: coletor de placa plana

	Unidades	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)
Limpeza das placas	12	60,00	720,00
Operacional: energia elétrica	1	1.206,64	1.206,64
Total: R\$/ano			1.926,64

Fonte: adaptado de Serafini (2009)

Tabela 5 - Custos de aquisição: coletor de tubos evacuados

Item	Unidades	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Placas com conexões e fixação	357	492,48	175.787,20
Controller com termostatos	1	700,00	700,00



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Bomba de circulação	2	350,00	700,00
Válvulas	10	30,00	300,00
Tubulações de 6m (2")	17,5	30,00	525,00
Isolamento para tubulação	105	2,50	262,50
Conexões	60	1,25	75,00
Extras : Percentual do total	10%	17.815,09	17.815,09
Total			195.965,94

Fonte: adaptado de Serafini (2009)

Tabela 6 - Custos operacionais: coletor de tubos evacuados

	Unidades	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)
Limpeza das placas	12	60,00	720,00
Operacional: energia elétrica	1	1.206,64	1.206,64
Total			1.926,64

Fonte: adaptado de Serafini (2009)

Economicamente, as discussões estarão norteadas nos custos de aquisição, pois os custos operacionais são iguais. Analisando as Tabelas 3 e 5, percebe-se que o investimento inicial necessário para a instalação do sistema solar com coletores de tubos evacuados é 103,80% mais elevado, para a mesma quantidade de calor gerado.

4 Conclusão

Conclui-se que, do ponto de vista ambiental, a opção pela utilização de coletores solares de tubos evacuados é a melhor opção, tendo em vista o menor impacto gerado durante sua fabricação, dentre as categorias analisadas. No entanto, a partir da abordagem econômica, fica claro que é necessário um maior investimento para a aquisição do sistema de coletores solares de tubos evacuados.

Tendo em vista a aparente ambigüidade dos resultados obtidos, percebe-se que a escolha do coletor está sujeita a vantagem almejada, sendo necessário uma complementação à tomada de decisão. Para exemplificar, toma-se o caso prático do aquecimento de água das piscinas do CEFID, que utiliza óleo combustível como fonte de calor, no qual se pretende substituir parcialmente o combustível pelo uso do sistema solar de aquecimento. Assim, para uma situação em que não se tenha recursos financeiros suficientes, a opção por um coletor do tipo placa plana é mais atrativa, mesmo que seu processo produtivo seja mais poluente, pois certamente haverá menor impacto ambiental devido à eliminação dos gases de combustão na fase operacional em comparação com o sistema original. Caso contrário, em havendo recursos financeiros, a opção tubos evacuados é a mais indicada.

Paralelamente, nota-se a importância do uso da ACV como instrumento para se obter uma visão ambiental completa de um processo, constituindo-se em importante ferramenta nos processos decisórios de conflitos entre variáveis econômicas, sociais e ambientais.

Referências

BATTISTI, R., CORRADO, A., "Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage". *Journal of Cleaner Production* .v. 13, p.1295- 1300, 2005.



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

CELLURA, M., LONGO, S., MISTRETTA, M., “*Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: The case study of an Italian tile*”. **Renewable and Sustainable Energy Review** .v. 15, p.4697- 4705, 2011.

FARRET, Felix Alberto, **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria: Editora da UFSM. 1999. 245 p.

MICHELS, A., MAYER, F.D., GALLON, R., HOFFMANN, R., SERAFINI, S.T., “*Fossil Fuel Saving through a Direct Solar Energy Water Heating System*”. **Clean Journal** .v. 36, p.743-747, 2008.

SERAFINI, S.T., “*Viabilidade econômica e aspectos ambientais do uso de aquecimento solar nas piscinas da UFSM, em substituição parcial ao óleo combustível (Relatório Final BIC-CNPq)*.” Universidade Federal de Santa Maria. 2009. 47 p.

SIMONS, A., FIRTH, S.K. “*Life-cycle assessment of a 100% solar fraction thermal supply to a European apartment building using water-based sensible heat storage*”. **Energy and Buildings** .v. 43, p.1231- 1240, 2011.

TSILINGIRIDIS, G., MARTINOPoulos, G., KYRIAKIS, N., “*Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating*”. **Renewable Energy** . v. 29, p.1277- 1288, 2004.