

# ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL

Luigi Antonio de Araujo Passos, Sergio Colle

LEPTEN / Labsolar, Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil

luigi@lepten.ufsc.br, colle@emc.ufsc.br

## RESUMO

As consequências do pico de demanda do setor residencial brasileiro têm efeito direto nos custos e na qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica, afetando tanto o consumidor quanto o setor elétrico. Diante disto o aquecedor solar é proposto como uma opção para desagregar ou reduzir totalmente o pico de demanda dos chuveiros elétricos. O presente estudo analisa a viabilidade econômica desses sistemas no Brasil, sob o ponto de vista do consumidor residencial e do setor elétrico brasileiro. Para tanto o desempenho térmico dos sistemas é simulado computacionalmente. Os resultados desta análise mostram que o investimento nos sistemas de aquecimento solar é viável tanto para o consumidor quanto para o setor elétrico. Constata-se que há uma economia para o setor elétrico de pelo menos R\$ 560 por cada chuveiro que deixe de ser instalado. Esta economia poderia ser utilizada como subsídio dos equipamentos solares, promovendo assim uma maior disseminação do seu uso nos domicílios brasileiros.

**Palavras-chave:** Aquecedor solar, chuveiro elétrico, economia de energia, simulação.

## ABSTRACT

The consequences about the peak of demand have a direct effect on costs and service quality of the electricity supply, affecting both consumers and the electricity sector. In view of this, the solar hot water system has been proposed as an option to reduce the peak demand due of electric showerheads. This work analyzes the economic feasibility of these systems, according to the consumers and electricity sector. Computational simulations were performed for this purpose. The results were positive for both involved. We can see that at least R\$ 560 has been saving for electricity sector. These savings could be transferred to the consumers, aiming the spread of solar water heating and the associated financial feedback .

**Keywords:** Solar water heating, electrical showerhead, energy savings, simulations.

# I. INTRODUÇÃO

O uso intenso de chuveiros elétricos no Brasil para o aquecimento de água para banho é um aspecto oneroso tanto para o consumidor residencial como também para o sistema elétrico brasileiro. Apesar do custo de aquisição desses equipamentos ser relativamente baixo, da ordem de US\$ 30 para potências nominais variando de 4kW a 8kW, estima-se que o custo de expansão da rede para suprir a demanda elétrica no horário de pico seja de até US\$ 2000 por chuveiro elétrico instalado (COLLE et al., 2003; SALAZAR, 2004). Tal dispositivo responde por aproximadamente 25% do consumo de energia elétrica doméstica e este percentual pode alcançar 35% da demanda total das famílias de baixa renda (Prado, Goncalves, 1998). Esses fatores desfavoráveis nos permitem concluir que as concessionárias de energia elétrica deveriam fortemente considerar o uso da energia solar para reduzir a demanda elétrica decorrente dos chuveiros elétricos no Brasil.

Estudos preliminares demonstram que o aquecimento de água para banho através do uso de SAS (sistemas de aquecimento solar) é tecnicamente viável em praticamente todas as regiões do país. Diante disso, o presente estudo tem como principal foco analisar a viabilidade econômica da utilização desses sistemas. O desempenho térmico anual é avaliado a partir do software de simulação transiente TRNSYS e dados climáticos TMY (Typical Meteorological Year), disponíveis na base de dados SWERA. Por conseguinte, a análise econômica é realizada ancorada em diferentes cenários de prática tarifária de eletricidade e subsídio de equipamentos solares, a fim de avaliar se é economicamente viável para o consumidor investir na aquisição de um sistema aquecimento solar ao invés de continuar utilizando o chuveiro elétrico para o aquecimento de água para banho. Avalia-se também a viabilidade econômica para o setor elétrico, estimando a economia financeira que seria alcançada por cada residência que resolvesse instalar um sistema de aquecimento solar, uma vez que haveria uma atenuação dos investimentos em expansão da rede de fornecimento para atender a demanda de pico acentuada pelo uso de chuveiros elétricos.

Os resultados contemplados neste estudo são importantes no sentido de fundamentar tecnicamente a decisão de adotar ou não a agregação de sistemas de aquecimento solar nas residências brasileiras. Acredita-se que devam existir cenários favoráveis no contexto dos quais os ganhos com a integração da energia solar e decorrente redução dos investimentos consequentes da atenuação do pico de demanda, possam ser utilizados para subsidiar a aquisição dos coletores pelos consumidores de média e baixa renda no Brasil.

## 2. DESEMPENHO TÉRMICO ANUAL DO SISTEMA E ECONOMIA DE ENERGIA

### 2.1. SISTEMA FÍSICO

As simulações foram realizadas considerando-se um sistema composto por um aquecedor solar com reservatório térmico acoplado, um misturador termostático e um aquecedor de passagem, visto que esta a configuração que apresentou melhor desempenho em estudos preliminares (). O desenho esquemático desse sistema pode ser observado na figura 1.

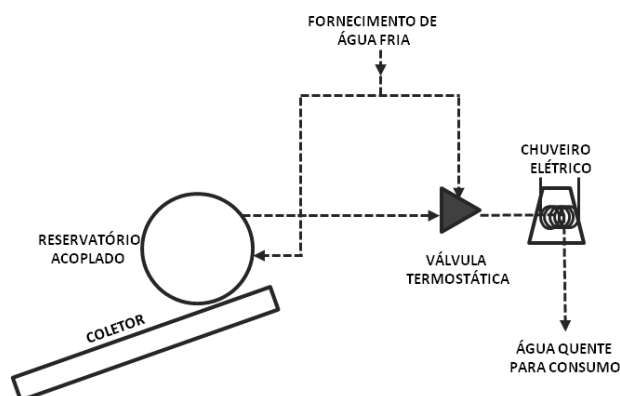


Figura 1 - Esquema ilustrativo do sistema de aquecimento solar considerado

O aquecimento auxiliar no sistema é efetuado através de um aquecedor de passagem que está localizado no último ponto da linha de consumo. Tal aquecedor é acionado em função de uma temperatura mínima da

água previamente estabelecida para consumo, de modo a garantir que o usuário sempre tenha uma disponibilidade de água quente satisfazendo as condições impostas para consumo.

Quanto aos componentes do sistema, considera-se um coletor solar plano com área de 1,36 m<sup>2</sup> e parâmetros de eficiência  $F_R(T\alpha)_n = 0,67$  e  $F_{RUL} = 5,74 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Os reservatórios térmicos possuem um volume de 90,5 l e são isolados termicamente com uma camada uniforme de lã de vidro com espessura de 5,0 cm. A temperatura da água quente, estabelecida para consumo, é de 40°C. O consumo de água quente é realizado conforme o perfil horário resultante do experimento de escala referido por Salazar (2004), assumindo um consumo diário de 200 litros.

## 2.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA

A avaliação do desempenho térmico do sistema é realizada a partir de uma simulação transiente na qual os fluxos de calor, assim como o consumo de energia elétrica requerido pelo sistema, são determinados numericamente. Para isso utilizou-se o software TRNSYS e dados climáticos TMY disponíveis na base de dados SWERA.

O TRNSYS é um programa de simulação transiente que tem como principal característica a sua estrutura modular. Para realizar a simulação, os componentes constituintes do sistema analisado devem ser selecionados da biblioteca do software e em seguida interligados de modo que seja satisfeito o fluxo de massa e de informações entre eles. A figura 2 mostra o ambiente de simulação do software com seus respectivos componentes e conexões.

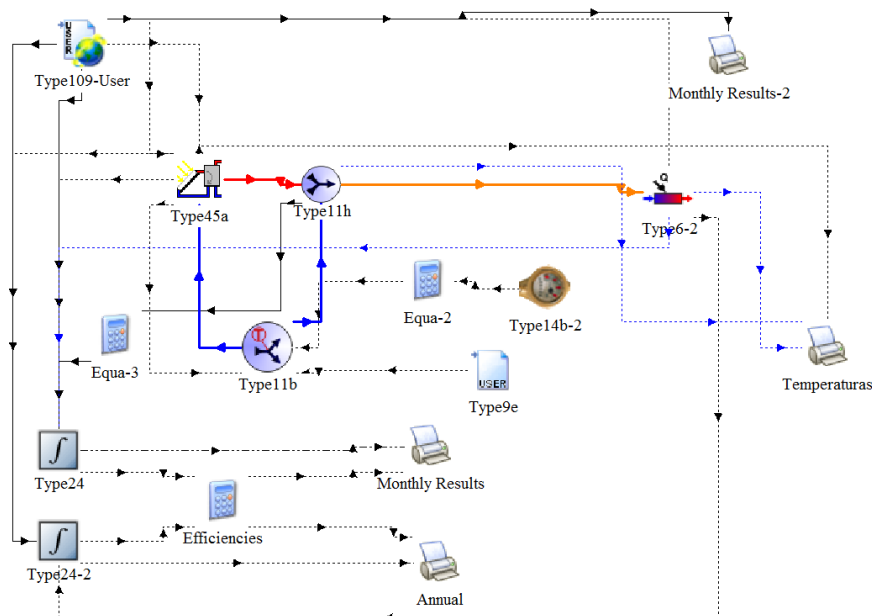


Figura 2 - Ambiente de simulação no TRNSYS

No sistema computacional, estes componentes são representados por sub-rotinas escritas em Fortran. Cada componente é modelado matematicamente por um sistema de equações e o papel do TRNSYS é resolver essas equações para cada intervalo de tempo, assegurando a convergência da solução.

Uma vez computados os fluxos de calor no sistema, a economia de energia pode ser calculada em termos da fração solar do sistema, a qual é definida como:

$$f = 1 - \frac{\int_{t_0}^t P_{aux} dt}{\int_{t_0}^t \dot{m} c_p (T_{set} - T_i) dt} \quad (1)$$

Onde  $P_{aux}$  é a potência elétrica consumida,  $m$  o consumo horário de água,  $c_p$  o calor específico da água a pressão constante,  $T_{set}$  a temperatura estabelecida para consumo e  $T_i$  a temperatura da água de abastecimento.

Os dados climáticos considerados nesta análise são dados TMY - Typical Meteorological Year, obtidos na base de dados SWERA - *Solar and Wind Energy Resource Assessment*. Dados TMY são dados construídos para corresponder a um ano típico, considerando a ocorrência de períodos quentes/frios, ensolarados/nublados e úmido/seco, em todos os meses do ano. Tais dados têm sido bastante utilizados com esse propósito (BOLAND; DIK, 2001).

Nesse sentido, a referida base de dados dispõe de séries temporais horárias TMY, abrangendo as componentes global, direta e difusa da radiação solar, e ainda outros dados meteorológicos como temperatura ambiente e umidade relativa do ar, para vinte cidades brasileiras. A figura 3 mostra a distribuição geográfica dessas cidades.

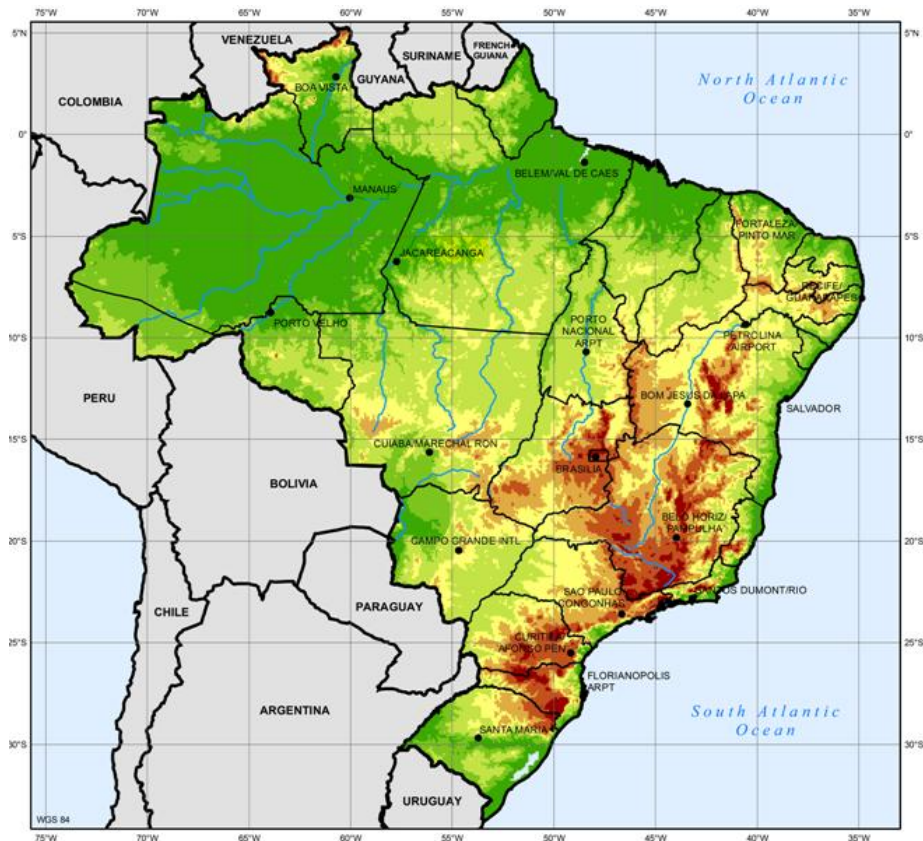


Figura 3 - Distribuição geográfica das cidades brasileiras com dados TMY

Tabela 1- Desempenho térmico nas cidades analisadas

Região	Cidades	T <sub>amb</sub> [°C]	G [kWh/m <sup>2</sup> ]	f [%]
NORTE	Belém - PA	26,5	1856	99
	Jacareacanga - PA	25,9	1814	96
	Boa Vista - RR	28,5	1922	100
	Manaus - AM	26,8	1743	93
	Porto Nacional - TO	27,1	2078	100
	Porto Velho - RO	26,3	1860	97
NORDESTE	Fortaleza - CE	27,2	2010	100
	Petrolina - PE	26,8	2076	99
	Recife - PE	27,1	1980	99
	Salvador - BA	25,9	1926	94
CENTRO-OESTE	Brasília - DF	21,3	1963	90
	Campo Grande - MT	24,0	1928	94
	Cuiabá- MS	26,7	1949	98
SUDESTE	Belo Horizonte - MG	22,0	1916	90
	Rio de Janeiro - RJ	24,0	1843	90
	São Paulo - SP	19,5	1679	72
SUL	Curitiba - PR	17,2	1521	58
	Florianópolis - SC	20,7	1647	75
	Santa Maria - RS	19,5	1626	69

### 3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a avaliação da viabilidade econômica do sistema, as cidades foram agrupadas de acordo com suas respectivas regiões, a fim de facilitar a visualização dos resultados. De fato, os dados econômicos referentes ao consumo de energia elétrica são fornecidos dessa maneira (MME, 2010a; MME, 2010b; ANEEL, 2010).

A inflação e a correção monetária foram desprezadas, de modo que o custo nominal dos equipamentos e da energia elétrica são os mesmos durante todo o período de análise, adotando-se a premissa de que a atualização monetária anularia os efeitos da inflação. A taxa de desconto praticada é de 8% ao ano, assumindo como referência o rendimento médio oferecido pelas poupanças nos últimos 10 anos. Tal valor representa a taxa mínima de atratividade do investimento, que corresponde ao mínimo que o consumidor se propõe a ganhar ao investir seu capital.

O custo marginal de expansão das usinas hidrelétricas considerado é de 2650 R\$/kW (IPEA, 2003).

Nesse contexto, a análise é realizada sob a perspectiva do consumidor residencial usuário de chuveiro elétrico e da concessionária de energia. Para o consumidor, os parâmetros avaliados são o tempo de retorno do investimento no aquecimento solar, a TIR – Taxa Interna de Retorno, e a LCS – Life Cycle Savings. Por outro lado, para a concessionária o parâmetro avaliado é a economia no custo marginal de expansão, ou seja, a economia obtida por cada residência que resolva substituir o chuveiro elétrico pelo sistema de aquecimento solar.

Diversas definições para o tempo de retorno são significativas no contexto da análise econômica dos processos de conversão da energia solar (DUFFIE; BECKMAN, 2006). No presente trabalho, assume-se como tempo de retorno o tempo necessário para que a economia financeira com energia elétrica se iguale ao total investido no sistema de aquecimento solar. Em outras palavras, o tempo de retorno representa o tempo que o consumidor irá levar para que consiga pagar os custos da introdução do equipamento solar, utilizando para isso a quantia economizada anualmente no consumo de energia elétrica. Sob esse conceito, em rigor o investimento no sistema solar é considerado viável quando o tempo de retorno não supera a vida útil dos equipamentos. Todavia, esse critério é relativo, ficando ao consumidor a decisão final sobre um valor de tempo de retorno mínimo que lhe seja satisfatório. Para o cálculo desse parâmetro foi utilizada uma planilha de dados onde é feita uma análise dos fluxos de caixa com as receitas e despesas do investimento.

A TIR é definida como a taxa de desconto que torna o valor presente das economias futuras equivalente ao valor do investimento inicial feito no sistema de aquecimento solar. Dessa forma, a TIR caracteriza-se como a taxa do retorno financeiro obtido no investimento assumido pelo consumidor, sendo calculada através da seguinte equação:

$$\sum_{i=0}^T \frac{CF_i}{(1 + TIR)^i} + C_{inicial} = 0 \quad (2)$$

Onde T é o período considerado, CF o fluxo de caixa e C<sub>inicial</sub> o investimento inicial no sistema.

A avaliação de tal parâmetro determina se o investimento está gerando mais economias ou custos. Nesse contexto, considera-se o investimento inviável quando a TIR for maior que a taxa de desconto praticada.

Quanto a LCS, esta é definida como a diferença entre os custos totais de um sistema de aquecimento convencional e os custos totais dos dois sistemas, a partir de uma planilha de dados. Sob esse conceito, o investimento no sistema solar é considerado viável quando apresentar uma LCS positiva.

Para a concessionária de energia elétrica, a viabilidade econômica ocorre quando os custos despendidos com investimentos no sentido de reduzir o pico de demanda forem menores que os custos relativos a expansão da rede.

As tarifas de energia elétrica consideradas são diferentes para cada estado brasileiro e está sujeita ainda a aplicação do imposto de ICMS. Desta forma, alguns estados irão apresentar um custo final bem diferente de outros. A discriminação desses valores é apresentado no tabela I.

**Tabela 2 - Tarifas de eletricidade para o consumidor residencial**

Cidades	Tarifas R\$/kWh	ICMS (%)	Custo Final R\$/kWh
Belém-PA	0,3699	25	0,4624
Jacareacanga-PA	0,3701	25	0,4626
Boa Vista-RR	0,2687	17	0,3144
Manaus-AM	0,3043	25	0,3803
Porto Nacional-TO	0,4181	25	0,5226
Porto Velho-RO	0,3512	17	0,4109
Fortaleza-CE	0,4020	17	0,4703
Petrolina-PE	0,3201	25	0,4001
Recife-PE	0,3201	25	0,4001
Salvador-BA	0,3486	25	0,4357
Brasília-DF	0,2800	21	0,3388
Campo Grande-MT	0,3635	20	0,4362
Cuiabá-MS	0,3648	25	0,4560
Belo Horizonte-MG	0,3762	30	0,4891
Rio de Janeiro-RJ	0,3177	25	0,3971
São Paulo-SP	0,2965	25	0,3706
Curitiba-PR	0,3000	27	0,3800
Florianópolis-SC	0,3250	25	0,4062
Santa Maria-RS	0,3164	25	0,3955

Quanto aos custos de aquisição dos equipamentos do sistema, considera-se que o consumidor não recebe nenhum subsídio por parte da concessionária de energia elétrica para facilitar o investimento inicial. Sendo assim, o mesmo arca totalmente com os custos provenientes da aquisição e manutenção do sistema durante todo seu ciclo de operação. Os valores referentes à esses custos são apresentados na tabela 2.

**Tabela 3 - Custos e vida útil do sistema de aquecimento solar**

Descrição	Valor (R\$)
Aquisição	R\$ 1.200,00
Instalação	R\$ 400,00
Manutenção	1% ao ano do total investido
Vida útil do equipamento	20 anos

Por conseguinte, os parâmetros mencionados são avaliados e os resultados da avaliação da viabilidade econômica para o consumidor residencial de energia elétrica são apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 - Avaliação da viabilidade econômica do SAS, para o consumidor**

Análise	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Tempo de retorno [Anos]	5,4	5,8	4,7	4,3	5
Taxa Interna de Retorno [%]	12,7	11,2	14,5	16,5	13,6
LCS [R\$]	2.208,5	1.963,6	2.484,6	2.820,0	2.337,4

Apesar dos resultados apresentados para o tempo de retorno representarem uma viabilidade econômica, este ainda pode ser considerado relativamente alto para alguns consumidores, visto que a maioria deles almeja um retorno imediato. Todavia, os resultados da TIR e da LCS reafirmam a viabilidade econômica para aquisição do sistema pelos consumidores.

Na análise sob a perspectiva do setor elétrico, observa-se que esta só apresenta ganhos referentes a energia conversada anualmente e evitada no horário de pico, uma vez que não foi feito nenhum tipo de

investimento financeiro por sua parte. Deste modo, o custo pago pela concessionária para evitar o pico é zero, dispensando a necessidade de cálculo de tempo de retorno. Por sua vez, considerando-se o custo marginal de expansão e a potência evitada no horário de pico para cada região do Brasil, estima-se a economia obtida pelo setor elétrico, por cada residência que utilize o aquecedor solar ao invés do chuveiro elétrico. Tal resultado é apresentado na tabela 5.

**Tabela 5 – Avaliação da viabilidade econômica do SAS, para o setor elétrico**

Análise	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Economia Obtida [R\$]	559,2	568,2	671,3	773,7	810,5

Essa economia serve como critério para estimativa do subsídio que o setor elétrico poderia conceder ao usuário. Conforme mostram os resultados, há uma economia que varia de R\$ 560 a R\$ 810, para cada residência que substitua o chuveiro elétrico por um sistema de aquecimento solar. Desta forma, o referido SAS é economicamente viável para as concessionárias de energia elétrica, uma vez que esta só apresenta ganhos.

#### 4. CONCLUSÕES

Considerando a viabilidade técnica dos sistemas de aquecimento solar no Brasil, avaliou-se a viabilidade econômica desses sistemas estimando os impactos de economia de energia nas residências, para o consumidor e para o setor elétrico. Nesse sentido, a introdução do SAS mostrou-se viável para o consumidor residencial de cada região do Brasil, confirmando a hipótese de que em longo prazo é mais interessante investir no sistema de aquecimento solar do que continuar pagando o consumo de eletricidade requerido pelo chuveiro elétrico. Da mesma forma, o SAS mostrou-se viável para o setor elétrico. Diante disso, sugere-se então que a concessionária, como incentivo, subsidie parte do investimento inicial requerido para a introdução do SAS, gerando assim uma redução no tempo de retorno e aumentando a probabilidade do consumidor resolver instalar o sistema em sua residência.

O fato de o tempo de retorno ter sido maior para as regiões norte e nordeste contrariam a intuição dessa análise. Todavia, tal condição é verdadeira porque nessas regiões mais quentes o consumo de energia para aquecer água é bem menor, e com isso, a economia obtida também.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLAND, J.; DIK, M. The level of complexity needed for weather data in models of solar system performance. *Solar Energy*, v. 71, n. 3, p. 187, 2001.

COLLE, S., GLITZ, K. L. Z., SALAZAR, J. P., ABREU, S. L.. Cost Optimization of Low-Cost Solar Domestic Hot Water Systems Assisted by Electric Energy, ISES - International Solar Energy Society Conference, Göteborg. 2003.

DUFFIE; BECKMAN. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3<sup>o</sup> ed. New Jersey: John Wiley and Sons, 2006.

PRADO R.T.A., and GONÇALVES O.M. Water heating through electric shower and energy demand. *Energy and Buildings* (29) 77-82. 1998.

SALAZAR, J. P. Economia de Energia e Redução do Pico da Curva de Demanda para Consumidores de Baixa Renda por Agregação de Energia Solar Térmica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2004.