

# ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA DA UTILIZAÇÃO RESIDENCIAL DE SISTEMAS SOLARES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

**Leandro da Silva Sales**

Departamento de Mecânica, UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil

leandro8746@hotmail.com

**Ricardo Dias Martins de Carvalho<sup>1</sup>**

Departamento de Mecânica, UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil

martins@unifei.edu.br

**Resumo.** No presente trabalho, foram estudados a possibilidade de aquisição, por diferentes camadas sociais brasileiras, de sistemas solares de aquecimento de água e o seu impacto sobre o consumo de energia elétrica. Considerando-se um sistema solar com circulação natural de água, o tipo mais difundido no Brasil e o mais adequado para uso residencial, foi determinado o tempo de retorno do investimento para diferentes capacidades requeridas do sistema. Foi simulada a operação do aquecedor ao longo de todo o ano em Itajubá, MG, utilizando-se dados climáticos reais para esta localidade. Para o cálculo do tempo de retorno do investimento, foram utilizados valores do custo da energia elétrica e do crédito bancário representativos do mercado brasileiro. Conclui-se que cerca de 67% dos domicílios brasileiros não teriam acesso ao crédito para financiamento destes sistemas. Há, por conseguinte, a necessidade de incentivos governamentais para atender estas camadas sociais.

**Palavras-chave:** Aquecedor Solar, Água, Circulação Natural, Tempo de Retorno do Investimento

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais entraves à difusão da tecnologia de aquecimento solar entre as camadas sociais de renda mais baixa é o custo de aquisição dos equipamentos. Assim sendo, estuda-se aqui a possibilidade de aquisição, por diferentes camadas sociais brasileiras, de sistemas solares de aquecimento de água e o seu impacto sobre o consumo de energia elétrica. O tempo de retorno do investimento nestes sistemas foi determinado com base nos trabalhos de Böer (1978) e Nahar (2002).

Em 2001, a Caixa Econômica Federal (CEF) lançou um programa de financiamento, entre outros, de sistemas solares de aquecimento de água para uso doméstico. Por esta razão e pela maior penetração desta instituição bancária entre as camadas sociais de renda mais baixa, as linhas de crédito da CEF foram pesquisadas para esta análise. Verificou-se que a linha de crédito Construcard permite condições mais flexíveis e operacionalização mais simples do empréstimo. A taxa nominal de juros é de 1,65% ao mês, o prazo de amortização é de um a 34 meses e a prestação de amortização e juros é calculada com base no saldo devedor atualizado pela TR (~ 0,4%). Isto corresponde a uma taxa efetiva de juros de 25,57% ao ano. Além disso, a prestação mensal não deve exceder 30% da renda do proponente.

---

<sup>1</sup> Autor para correspondência

Esta análise custo–benefício de sistemas solares de aquecimento de água pressupõe o conhecimento do consumo médio de energia elétrica para o mesmo fim nos domicílios típicos das várias classes sociais brasileiras. Para tal, seria necessário saber da disseminação do chuveiro elétrico mesmo entre as camadas de renda mais baixa e o consumo médio de energia elétrica por domicílio, por classe social. Todavia, estas informações específicas inexistem tanto nas pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como nos dados da Eletrobrás. A Tabela 1 mostra a distribuição dos domicílios brasileiros por faixa de consumo de energia elétrica e a Tabela 2 mostra a distribuição dos domicílios por faixa de renda. Embora o maior número de domicílios se encontre nas faixas de menor consumo, não se pode afirmar que se trata necessariamente de domicílios de baixa renda. A este respeito, recentemente o Tribunal de Contas da União (TCU) constatou que os descontos nas tarifas de energia elétrica instituídos por lei não estão beneficiando a população de baixa renda. De acordo com a lei e as resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), os consumidores residenciais de baixa renda estão isentos de pagar o valor da contratação da capacidade de geração de energia. A caracterização do consumidor de baixa renda é feita pelo consumo domiciliar de energia e pelo tipo de ligação elétrica. Por outro lado, dados extraídos da Pesquisa de Padrões de Vida (PPV), realizada pelo IBGE em 1996 e 1997, mostraram que não existe uma correlação entre renda per capita e consumo domiciliar de energia. Mais ainda, a concessão de benefício a domicílios com consumo de energia inferior a 80 kWh mensais cuja ligação seja monofásica ou bifásica não exclui residências de média e alta renda como “flats” e pequenos apartamentos.

Tabela 1: Distribuição dos domicílios brasileiros por faixa de consumo de energia elétrica ([www.ilumina.org.br](http://www.ilumina.org.br)).

Distribuição do consumo [kWh]	% do total de domicílios	Consumo médio mensal [kWh]	Número de domicílios no ano de 2000
[0 : 100]	39	60	18.437.000
[101 : 200]	32	130	15.317.000
[201 : 500]	25	240	11.818.000
> 500	4	650	1.701.000
<b>Total</b>			47.273.000

Tabela 2: Distribuição dos domicílios brasileiros por faixa de renda (IBGE, 1999).

Faixa de renda (Salário mínimo)	Número de domicílios	Porcentagem do total	Renda média R\$
Até 1	6.747.149	17	110
Mais de 1 a 2	7.650.693	17	214
Mais de 2 a 3	6.737.027	15	343
Mais de 3 a 5	8.183.796	18	534
Mais de 5 a 10	8.632.402	19	954
Mais de 10 a 20	4.790.722	10	1.887
Mais de 20	2.754.437	6	5.075
<b>Total</b>	44.696.226		

Neste artigo é estudada sistematicamente a economia de energia elétrica possível de ser obtida pela utilização de sistemas solares de aquecimento de água para várias capacidades requeridas do sistema (volumes de água quente), que é função direta do número de pessoas no domicílio. Considera-se um sistema de aquecimento solar com circulação natural de água operando em Itajubá,

MG (latitude 22,43° S; longitude 45,45° O; altitude 840 m; coletores inclinados 33° em relação à horizontal e voltados para o norte). Determina-se então se a economia mensal em dinheiro permitida pelo sistema torna viável o seu financiamento pela linha de crédito Construcard (CEF).

## 2. CÁLCULO DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Uma vez que o aquecimento doméstico de água no Brasil se dá pela utilização do chuveiro elétrico na esmagadora maioria dos casos, o tempo de retorno do investimento foi calculado considerando-se somente a energia elétrica como a fonte de energia substituída. Seja  $\Delta T_i$  a elevação diária média da temperatura da massa de água “m” pelo sistema solar, típica de um determinado mês “i” do ano para a localidade em questão. Se “ $Ce_i$ ” (\$/kWh) for o custo da energia elétrica no mês “i”, a economia em dinheiro permitida pelo aquecedor solar é:

$$E_i = mc_p \Delta T_i n_i Ce_i \quad (1)$$

na qual  $n_i$  é o número de dias do mês analisado. A economia anual é:

$$E = \sum_{i=1}^{12} E_i = \sum_{i=1}^{12} (mc_p \Delta T_i n_i Ce_i) = mc_p \sum_{i=1}^{12} (\Delta T_i n_i Ce_i) \quad (2)$$

Seja “ $Ce_0$ ” o custo da energia elétrica no instante inicial da análise e seja “f” a taxa de inflação anual no preço da energia. O custo da energia ao final do primeiro ano será então:

$$Ce_I = Ce_0 + f Ce_0 = Ce_0(1+f) \quad (3)$$

Analogamente, o custo da energia elétrica ao final do segundo ano, admitindo-se constante a taxa de inflação “f”, será:

$$Ce_{II} = Ce_I + f Ce_I = Ce_0(1+f)(1+f) = Ce_0(1+f)^2 \quad (4)$$

Ao fim do N-ésimo ano, o custo da energia elétrica será:

$$Ce_N = Ce_0(1+f)^N \quad (5)$$

A presente análise pode então ser simplificada se, em vez de se considerar variações mensais no custo da energia elétrica, for considerada a variação anual. Isto é,  $Ce_0, Ce_I, \dots, Ce_N$  serão considerados constantes ao longo do ano a que se referem. A economia anual de energia ao longo do primeiro ano torna-se então:

$$E_I = mc_p Ce_0 \sum_{i=1}^{12} (\Delta T_i n_i) \quad (6)$$

A economia anual de energia elétrica durante o segundo ano somente (não é economia acumulada) é dada por:

$$E_{II} = mc_p Ce_I \sum_{i=1}^{12} (\Delta T_i n_i) = mc_p Ce_0 \left[ \sum_{i=1}^{12} (\Delta T_i n_i) \right] (1+f) = E_I (1+f) \quad (7)$$

Analogamente, durante o N-ésimo ano, a economia de energia é:

$$E_N = E_I(1+f)^{N-1} \quad (8)$$

A fim de se obter a economia em dinheiro durante todo o período analisado (soma da economia de todos os anos), deve-se fazer a equivalência da economia feita durante cada ano,  $E_i$ , a uma mesma data e depois somá-las. Tomando o instante inicial da análise (data 0) como esta data de referência e admitindo uma taxa anual de juros constante (também chamada de taxa de desconto) “j” sobre o capital investido, a economia em dinheiro do primeiro ano na data 0 será:

$$E_{I0} = \frac{E_I}{(1+j)} \quad (9)$$

A economia do segundo ano na data 0 será:

$$E_{II0} = \frac{E_{II}}{(1+j)^2} = \frac{E_I(1+f)}{(1+j)^2} \quad (10)$$

Analogamente, para o N-ésimo ano tem-se:

$$E_{N0} = \frac{E_N}{(1+j)^N} = \frac{E_I(1+f)^{N-1}}{(1+j)^N} \quad (11)$$

A economia em dinheiro acumulada ao longo de N anos é então:

$$E_{N,acum} = \frac{E_I}{(1+j)} + \frac{E_I(1+f)^1}{(1+j)^2} + \dots + \frac{E_I(1+f)^{N-1}}{(1+j)^N} \quad (12)$$

Para  $f \neq 0$  e / ou  $j \neq 0$ :

$$E_{N,acum} = \frac{\frac{E_I}{(1+j)} \left[ \left( \frac{1+f}{1+j} \right)^N - 1 \right]}{\left( \frac{1+f}{1+j} \right) - 1} \quad (13)$$

Considerando que o sistema solar tem um custo anual de manutenção correspondente a uma porcentagem “p” do custo “C” do equipamento e que essa manutenção está sujeita a uma taxa de inflação “i” ao ano, o custo dessa manutenção ao final do primeiro ano será:

$$C_I = pC(1+i) \quad (14)$$

Analogamente, ao final do N-ésimo ano tem-se:

$$C_N = pC(1+i)^N \quad (15)$$

Os custos anuais de manutenção ( $C_I, C_{II}, \dots, C_N$ ) serão levados para a data 0, considerando que essa manutenção será custeada por um capital a uma taxa de juros  $j'$  ao ano. Analogamente ao procedimento para  $E_{N,acum}$  na data 0, obtém-se o custo acumulado da manutenção. Para  $i \neq 0$  e/ou  $j' \neq 0$ :

$$M_{N,acum} = \frac{\frac{pC(1+i)}{(1+j')} \left[ \left( \frac{1+i}{1+j'} \right)^N - 1 \right]}{\left( \frac{1+i}{1+j'} \right) - 1} \quad (16)$$

Se “C” for o custo de aquisição de um sistema de aquecimento de água, o tempo de retorno do investimento, considerando os custos de manutenção, é dado pela condição:

$$E_{N,acum} = C + M_{N,acum} \quad (17)$$

Portanto, o tempo de retorno do investimento em um aquecedor solar é obtido pelo cálculo da economia de energia elétrica permitida pelo seu uso. Para  $f \neq 0$  e/ou  $j \neq 0$  e  $i \neq 0$  e/ou  $j' \neq 0$ , e ainda, se  $j' = j$  e  $i = f$ , tem-se:

$$N = \frac{\log \left\{ \frac{C \left[ \left( \frac{1+f}{1+j} \right) - 1 \right]}{E_I - pC(1+f)} + 1 \right\}}{\log \left( \frac{1+f}{1+j} \right)} \quad (18)$$

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas equações anteriores, é necessário conhecer a elevação média da temperatura da água que o aquecedor solar é capaz de fornecer em cada mês. Esta elevação de temperatura depende das especificações técnicas de cada equipamento (dimensões, materiais e configuração do sistema) e também das condições climáticas do local (intensidade de radiação solar, temperatura ambiente e velocidade do vento). A fim de determinar esta elevação de temperatura e outros parâmetros de operação do aquecedor, foi desenvolvido um programa computacional para simulação do sistema completo, isto é, coletor solar, reservatório térmico e tubos de conexão (Sales e Carvalho, 2003). Os dados de entrada nesse programa são as dimensões do sistema, propriedades dos seus materiais construtivos e dados climáticos do local. Portanto, a simulação não fica subordinada à eficiência média do coletor fornecida pelo fabricante, determinada em condições específicas e pré-estabelecidas. Cabe enfatizar aqui que esta eficiência média serve apenas como meio de comparar coletores que foram testados todos nas mesmas condições.

Considerando o uso da água para banho, é desejável um sistema que seja capaz de aquecê-la em torno de 40°C. O volume de água necessário em uma residência, apenas para banho, é determinado em função do número de pessoas, tempo de banho e vazão de água. Considerando uma vazão de 4,5 litros/minuto, um tempo de banho de 10 min e um único banho diário por pessoa, obtém-se a Tabela 3. Os volumes padronizados foram escolhidos sempre como aqueles imediatamente superiores aos

volumes calculados. Fez-se a análise para cinco sistemas cujas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 4. O custo dos componentes e da instalação foram obtidos em consulta à empresa Hot Aquecedores Solares, localizada em Itajubá-MG (coletor: R\$ 226,70/m<sup>2</sup>; reservatório de 100 litros: R\$ 5,52/litro; reservatório de 200 litros: R\$ 3,90/litro; reservatório com volume igual ou maior que 300 litros: R\$ 3,26/litro; válvula anticongelamento: R\$ 150,00; instalação: 12% do custo dos coletores mais reservatório). A informação referente à vida útil do equipamento (15 anos) também foi obtida da empresa Hot Aquecedores Solares, sendo esta mesma vida útil citada na literatura (Nahar, 2002). Utilizou-se uma taxa efetiva de juros de 25,57% ao ano (Construcard, CEF) e admitiu-se uma inflação no custo da energia elétrica de 7% ao ano. A Tabela 5 mostra os resultados da simulação e as Figuras 1 e 2 resumem alguns dos resultados obtidos. Pode-se observar que:

- Ao longo do ano, os sistemas simulados são capazes de fornecer água quente à temperatura adequada para banho conforme mostram os resultados para  $T_f$ .
- Considerando-se a linha de crédito Construcard (CEF) e sistemas com capacidades a partir de 300 litros, a economia média mensal em energia elétrica permite pagar a prestação de financiamento do sistema (Figura 1).
- Quanto maior a capacidade do sistema, maior é o valor da razão entre a economia média mensal e a prestação do financiamento (Figura 1).
- Quanto maior a capacidade do sistema, menor é o tempo de retorno do investimento para sistemas com até 300 litros. A partir deste valor, o tempo de retorno permanece aproximadamente constante, com uma leve tendência de aumento para volumes maiores (Figura 2).
- Uma vez que o tempo de retorno do investimento é muito menor do que a vida útil esperada dele, podem-se esperar vários anos de efetivo “lucro”.

Todavia, o número de pessoas tende a ser maior em famílias com menor renda. Assim, para atender essas famílias seriam necessários sistemas com capacidade maior, que custam mais caro. Tomando-se com base o sistema com 300 litros, que atende uma família com no máximo seis pessoas, a prestação mensal é de R\$134,58, o que corresponde a 56% do salário mínimo. Portanto, referindo-se à Tabela 2 e tendo em mente a condição de que a prestação mensal não deve exceder 30% da renda do candidato a empréstimo (CEF), pode-se afirmar que cerca de 49% dos domicílios brasileiros (as três primeiras faixas de renda) não poderiam pagar a prestação de financiamento mesmo deste sistema relativamente mais barato. E, de um ponto de vista mais realista, poderia se afirmar que mesmo a quarta faixa de renda estaria excluída, pois a prestação de R\$134,58 corresponde a 25% da renda domiciliar média e o sistema de aquecimento solar não seria prioritário. Assim, aproximadamente 67% dos domicílios brasileiros não têm poder aquisitivo suficiente para a compra de um sistema solar de aquecimento de água. Conclui-se então que há necessidade de outros incentivos governamentais para atender estas camadas sociais. Os benefícios estariam não somente no aumento do padrão de vida destas pessoas, mas também no reflexo imediato e futuro sobre o consumo de energia elétrica no país.

Tabela 3: Volume de água quente para banho em função do número de pessoas na residência e volume disponível do reservatório.

Número de pessoas	Volume de água calculado [litros]	Volume padronizado do reservatório [litros]
3	135	150
4	180	200
5	225	300
6	270	300
7	315	400
8	360	400
9	405	500
10	450	500

Tabela 4: Especificações dos sistemas utilizados para análise técnico-financeira.

Parâmetro	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV	Sistema V
Nº de pessoas	3	4	6	8	10
Reservatório	150 litros	200 litros	300 litros	400 litros	500 litros
Material do reservatório	Aço Inoxidável				
Nº de coletores	2	3	4	6	7
Área total dos coletores	2,76 m <sup>2</sup>	4,14 m <sup>2</sup>	5,52 m <sup>2</sup>	8,28 m <sup>2</sup>	9,66 m <sup>2</sup>
Material da placa absorvedora	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio
Material dos tubos	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre
Isolante	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
Custo unitário do coletor	R\$ 312,69				
Custo total dos coletores	R\$ 625,38	R\$ 938,07	R\$ 1250,76	R\$ 1876,14	R\$ 2188,83
Custo do reservatório	R\$ 706,50	R\$ 780,00	R\$ 978,00	R\$ 1304,00	R\$ 1630,00
Custo da válvula anti-congelamento	R\$ 150,00				
Custo da instalação	R\$ 177,83	R\$ 224,17	R\$ 285,45	R\$ 399,62	R\$ 476,26
Custo total	R\$ 1659,71	R\$ 2092,24	R\$ 2664,21	R\$ 3729,76	R\$ 4445,09
Vida útil estimada	15 anos				

Tabela 5: Desempenho térmico e tempo de retorno dos sistemas simulados.

Mês	Sistema I				Sistema II				Sistema III				Sistema IV				Sistema V			
	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>f</sub> [°C]	ΔT [°C]	E <sub>i</sub> [R\$]	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>f</sub> [°C]	ΔT [°C]	E <sub>i</sub> [R\$]	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>f</sub> [°C]	ΔT [°C]	E <sub>i</sub> [R\$]	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>f</sub> [°C]	ΔT [°C]	E <sub>i</sub> [R\$]	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>f</sub> [°C]	ΔT [°C]	E <sub>i</sub> [R\$]
<b>Jan</b>	16,4	45,6	29,2	71,54	16,4	47,2	30,8	100,61	16,4	45,2	28,8	141,12	16,4	46,1	29,7	194,03	16,4	44,6	28,2	230,29
<b>Fev</b>	16,2	45,1	28,9	63,95	16,2	46,8	30,6	90,28	16,2	44,7	28,5	126,13	16,2	45,7	29,5	174,08	16,2	44,2	28,0	206,53
<b>Mar</b>	15,5	45,3	29,8	73,01	15,5	47,1	31,6	103,22	15,5	44,9	29,4	144,06	15,5	46,0	30,5	199,26	15,5	44,4	28,9	236,01
<b>Abr</b>	12,3	49,0	36,7	87,01	12,3	51,4	39,1	123,60	12,3	48,7	36,4	172,60	12,3	50,2	37,9	239,62	12,3	48,3	36,0	284,51
<b>Mai</b>	9,2	40,5	31,3	76,68	9,2	42,5	33,3	108,78	9,2	40,0	30,8	150,91	9,2	41,3	32,1	209,71	9,2	39,5	30,3	247,44
<b>Jun</b>	12,7	41,1	28,4	67,33	12,7	43,0	30,3	95,78	12,7	40,7	28,0	132,77	12,7	41,8	29,1	183,98	12,7	40,2	27,5	217,33
<b>Jul</b>	8,1	40,8	32,7	80,11	8,1	43,0	34,9	114,00	8,1	40,3	32,2	157,77	8,1	41,7	33,6	219,51	8,1	39,8	31,7	258,87
<b>Ago</b>	9,2	44,2	35,0	85,75	9,2	46,5	37,3	121,84	9,2	43,8	34,6	169,53	9,2	45,3	36,1	235,85	9,2	43,4	34,2	279,29
<b>Set</b>	12,0	43,0	31,0	73,50	12,0	44,9	32,9	104,00	12,0	42,5	30,5	144,62	12,0	43,7	31,7	200,42	12,0	42,0	30,0	237,09
<b>Out</b>	14,7	42,6	27,9	68,35	14,7	44,3	29,6	96,69	14,7	42,2	27,5	134,75	14,7	43,1	28,4	185,54	14,7	41,5	26,8	218,86
<b>Nov</b>	15,2	43,9	28,7	68,04	15,2	45,6	30,4	96,10	15,2	43,6	28,4	134,67	15,2	44,5	29,3	185,25	15,2	43,0	27,8	219,70
<b>Dez</b>	17,1	43,9	26,8	65,66	17,1	45,4	28,3	92,44	17,1	43,5	26,4	129,36	17,1	44,2	27,1	177,05	17,1	42,8	25,7	209,88
<b>Média</b>	13,2	43,8	30,5	73,41	13,2	45,6	32,4	103,95	13,2	43,3	30,1	144,86	13,2	44,5	31,3	200,36	13,2	42,8	29,6	237,15
<b>Economia anual</b>	R\$ 880,94			R\$ 1.247,36			R\$ 1.738,29			R\$ 2.404,29			R\$ 2.845,80							
<b>Economia anual</b>	1.944,68 kWh			2.753,55 kWh			3.837,28 kWh			5.307,48 kWh			6.282,12 kWh							
<b>Custo total</b>	R\$ 1.659,71			R\$ 2.092,24			R\$ 2.664,21			R\$ 3.729,76			R\$ 4.445,09							
<b>Juros</b>	27,57% a.a.			27,57% a.a.			27,57% a.a.			27,57% a.a.			27,57% a.a.							
<b>Inflação</b>	7,0% a.a.			7,0% a.a.			7,0% a.a.			7,0% a.a.			7,0% a.a.							
<b>Manutenção</b>	R\$ 49,79 a.a.			R\$ 62,77 a.a.			R\$ 79,93 a.a.			R\$ 111,89 a.a.			R\$ 133,35 a.a.							
<b>Manutenção da conta</b>	R\$ 25,00 a.m.			R\$ 25,00 a.m.			R\$ 25,00 a.m.			R\$ 25,00 a.m.			R\$ 25,00 a.m.							
<b>Amortização</b>	34 meses			34 meses			34 meses			34 meses			34 meses							
<b>Prestação</b>	R\$ 93,27 a.m.			R\$ 111,06 a.m.			R\$ 134,58 a.m.			R\$ 178,41 a.m.			R\$ 207,83 a.m.							
<b>Tempo de retorno</b>	3,02 anos (36 meses)			2,58 anos (31 meses)			2,29 anos (28 meses)			2,33 anos (28 meses)			2,35 anos (28 meses)							

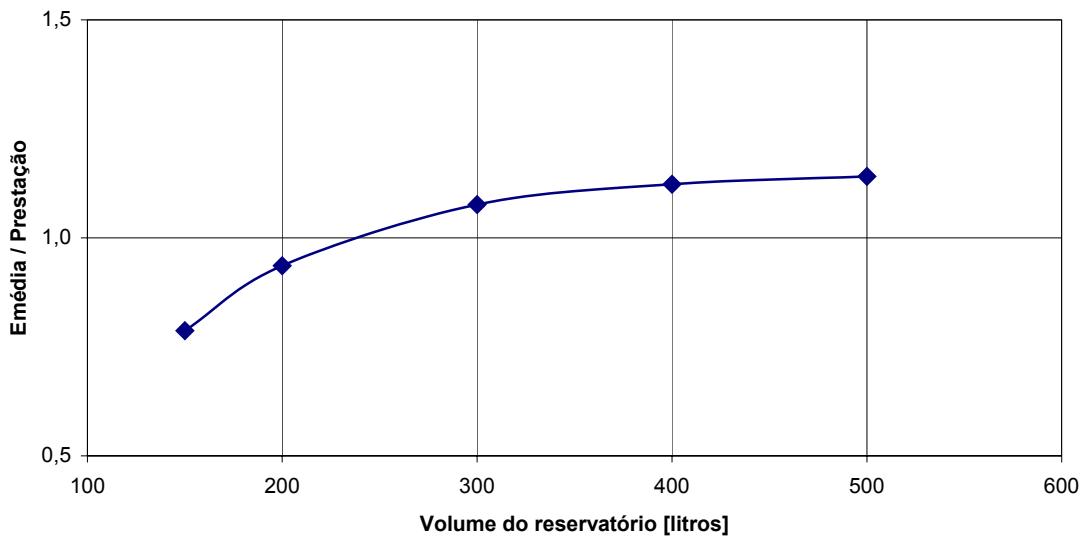


Figura 1: Razão entre economia média mensal e prestação em função da capacidade do sistema.

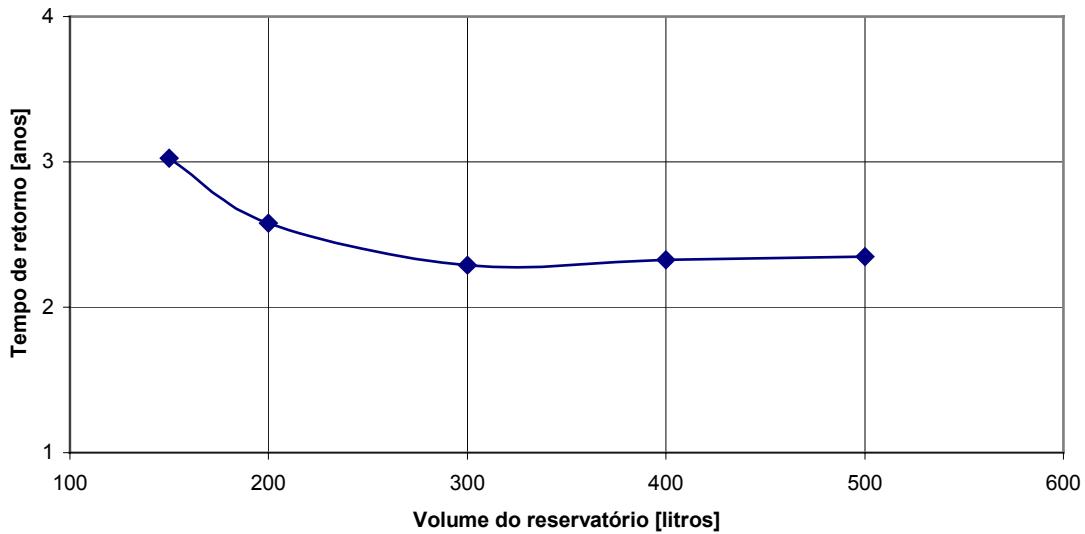


Figura 2: Tempo de retorno do investimento em função da capacidade do sistema.

#### 4. CONCLUSÕES

A economia de energia elétrica depende da elevação da temperatura da água que o aquecedor solar é capaz de fornecer em cada mês. Em todos os casos simulados, esta elevação de temperatura foi compatível com a utilização da água para banho ao longo do ano todo. A economia mensal de energia elétrica obtida permite o pagamento das prestações de financiamento para sistemas com capacidades a partir de 300 litros. Porém, cerca de 67% dos domicílios brasileiros não teriam acesso ao crédito para financiamento destes sistemas. Há, por conseguinte, a necessidade de outros incentivos governamentais para atender estas camadas sociais.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Böer, K. W., 1978, “Payback of Solar Systems”, *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 225-232.
- IBGE, 1999, *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*.
- Nahar, N. M., 2002, “Capital Cost and Economic Viability of Thermosyphonic Solar Water Heaters Manufactured from Alternate Materials in India”, *Renewable Energy*, Vol. 26, pp. 623-635.
- Sales, L. S. and Carvalho, R. D. M., 2003, “Heat Transfer and Fluid Flow Simulation in a Closed-Loop Natural Circulation Solar Water Heating System”, COBEM 2003, São Paulo, SP, Paper code 0796.

#### 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

# COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE RESIDENTIAL USE OF SOLAR WATER HEATERS IN BRAZIL

**Leandro da Silva Sales**

Department of Mechanical Engineering, UNIFEI, Itajubá, MG, Brazil  
leandro8746@hotmail.com

**Ricardo Dias Martins de Carvalho<sup>2</sup>**

Department of Mechanical Engineering, UNIFEI, Itajubá, MG, Brazil  
martins@unifei.edu.br

**Abstract.** *The present work deals with the possible use of solar water heaters by consumers from different economic levels of the Brazilian society on the premises of the corresponding savings it allows for. The analysis was based on a natural circulation solar water heater, the type most used in Brazil and the best suited for residential consumers. The payback times for different system capacities were calculated assuming operation in Itajubá, MG, and using actual weather data for this location. Displaced energy costs and capital costs typical of the Brazilian market were also used in the analysis.*

**Keywords:** *solar water heater, natural circulation, payback time*

---

<sup>2</sup> Corresponding author