

# ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR EM RESIDÊNCIAS POPULARES

**Clauber André Ferasso** – clauber@unisinos.br

**Mario Henrique Macagnan** – mhmac@unisinos.br

**João Batista Dias** – joabd@unisinos.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPG de Engenharia Mecânica

**Jean-Marc Stephane Lafay** – jeanmarc@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Resumo.** A contribuição das fontes de energias alternativas para a diversificação da matriz energética brasileira é importante devido, principalmente, ao aumento da demanda do consumo de energia elétrica. Parte deste aumento, no setor residencial, é consequência do uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos, na maioria das vezes no horário de ponta. A utilização de sistemas de energia solar (SAS) para aquecimento de água vem ao encontro deste propósito. Após análise do consumo médio mensal de energia elétrica fornecida pela concessionária durante o período de um ano em um conjunto residencial na cidade de Canoas, RS foi possível estimar o custo da utilização do chuveiro elétrico, por domicílio. A relação entre a demanda de energia para aquecimento de água e a energia produzida pelo SAS foi parametrizada utilizando-se o conceito de fração solar mensal e anual. Os resultados obtidos em três casos simulados mostraram que é possível obter uma economia média direta para consumidor de 43% da energia consumida pelo chuveiro elétrico e uma economia de energia estimada em até 12.056 kWh para o sistema elétrico ao longo de 20 anos.

**Palavras-chave:** Energia solar, Sistemas de Aquecimento, Chuveiro elétrico, Fração solar.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica aumenta cada vez mais em todas as regiões do Brasil e do mundo, tornando-as dependente dos combustíveis fósseis e de grandes investimentos em fontes geradoras de energia elétrica. No caso do Brasil, além do incremento do consumo, é cada vez mais elevado o pico da curva de demanda de energia elétrica no horário de ponta, parte causada pelo uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos instalados nos domicílios brasileiros. A contribuição dos chuveiros elétricos no consumo de energia elétrica no Brasil continuará com elevado percentual no que se refere a aquecimento de água, principalmente nas regiões com população de baixa renda. As ações para a disseminação de sistemas de aquecimento solar (SAS) em moradias populares baseia-se em projetos pilotos que vêm sendo realizadas por concessionárias de energia elétrica, companhias de habitação e governo federal (Naspolini e Rüther, 2010).

Grande parte do território brasileiro tem sua localização geográfica tropical e subtropical, possuindo um elevado potencial para a utilização da energia solar térmica. Entretanto, a principal dificuldade no aproveitamento dessa fonte de energia para aquecimento de água é o investimento inicial, em equipamentos e instalações, que é elevado comparado com a instalação de chuveiros elétricos.

Estudos mostram que o uso de SAS em aplicações massivas poderia, além de reduzir efetivamente o gasto mensal de energia elétrica, melhorando o padrão de vida de populações de baixa renda, impactar efetivamente na diminuição do pico da curva de carga do sistema no horário de ponta. Além disso, o sistema elétrico nacional pode beneficiar-se pela postergação da construção de novas usinas de geração, minimizar o uso de gás ou óleo combustível nas termoeletricas, reduzindo o custo da energia elétrica gerada e minimizando impactos ambientais e usar efetivamente a energia solar como parte de um *mix* de energéticos disponíveis (Trzesniewski, 1995).

Com a criação de programas de tecnologias mais eficientes para o desenvolvimento dos SAS para a população de baixa renda, esses poderão trazer benefícios para o setor elétrico reduzindo a demanda e o consumo de energia no horário de ponta. Conforme a região, os chuveiros elétricos poderão ser usados como uma fonte complementar de água quente ou serem substituídos completamente. A tecnologia solar para o aquecimento de água no Brasil possui um grande potencial para contribuir com a malha energética, podendo diminuir o pico da curva de demanda no horário de ponta.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto do uso de sistemas de aquecimento de água com energia solar para a substituição ou diminuição do uso dos chuveiros elétricos em residências de baixa renda, diminuindo a curva de pico de demanda no horário de ponta entre as 18 e 21 horas. Analisaram-se dados de demanda de energia elétrica em uma zona residencial de Canoas, RS, fornecido pela concessionária AES Sul (Distribuidora Gaúcha de Energia S/A) e através da aplicação de hipóteses de hábitos e perfis de consumo de energia para o banho, estimou-se a demanda para esse propósito. Desta forma, foi dimensionado um sistema de aquecimento solar (SAS) para atender uma

demanda típica de consumo residencial, baseado em dados climatológicos da região. Após, foi realizada uma avaliação sobre a utilização da energia solar para aquecimento de água para o banho e qual o impacto produzido na geração e distribuição de energia. Como resultado, foi feita uma análise da viabilidade econômica ao longo da vida útil desse sistema, que é em torno de 20 anos, e estimada a quantidade de energia que é possível reduzir ao longo desse período.

## 2. METODOLOGIA

Considerando que os beneficiados na adoção de SAS são o usuário final e as concessionárias de energia elétrica, é necessário avaliar a viabilidade econômica destes investimentos sob óticas diferenciadas. Para o usuário deve-se analisar a economia de energia elétrica ao utilizar energia solar para aquecimento da água do banho. Para a concessionária, a análise de viabilidade considera o investimento em SAS, a redução da demanda de energia elétrica no horário de pico e a consequente melhoria do fator de carga da concessionária (Portolann et al., 2010), além da diminuição de investimentos para expansão da rede elétrica.

Na última década, no Brasil e no mundo, inúmeros trabalhos científicos envolvendo pesquisas práticas e por métodos de simulação utilizando SAS ativos e passivos foram realizados com o intuito de promover o conhecimento de suas funcionalidades e benefícios para o uso doméstico. Neste contexto, no Brasil onde os chuveiros elétricos são largamente utilizados para aquecimento de água para banho tendo como resultado um elevado pico de demanda de energia elétrica no horário de ponta, os SAS podem contribuir com este fator, principalmente em residências de baixa renda em função de programas de financiamentos pelos bancos incentivados pelos órgãos do governo.

Os dados de consumo global de energia elétrica, mostrados na Fig. 1, foram fornecidos pela concessionária de energia elétrica (AES Sul) para o alimentador que atende o Conjunto Habitacional Guajuviras, na cidade de Canoas, RS, durante o período de abril de 2011 a março de 2012. Nesse local residem cerca de 30 mil pessoas em aproximadamente 6.000 mil moradias (casas e blocos de 4 andares).

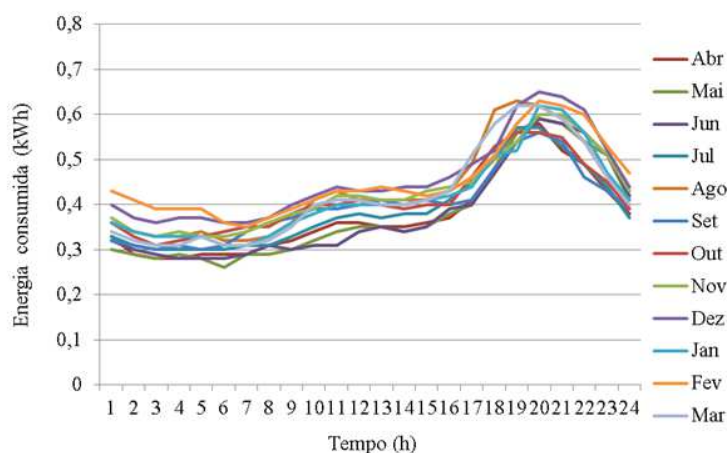


Figura 1 - Estimativa do consumo horário médio mensal domiciliar de energia elétrica

Apresenta uma média de cinco habitantes por domicílio e a renda média, per capita, é de R\$ 419,00. A estimativa do consumo desagregado deste equipamento foi obtida a partir da aplicação das seguintes hipóteses: (a) para cada mês e para cada hora, foram calculados os valores médios do consumo de energia elétrica, desconsiderando-se possíveis variações dos perfis de consumo nos finais de semana e feriados; (b) a estimativa do consumo de energia elétrica do chuveiro foi considerada como 30% do consumo total para aquela hora; (c) foi considerada a existência de apenas um chuveiro elétrico por domicílio.

Embora a estimativa do consumo desagregado do chuveiro elétrico seja realizada a partir de outros estudos, baseados em amostragens, os resultados apresentados pela aplicação das hipóteses anteriores constituem um indicador razoável do consumo deste equipamento. Através da aplicação desta metodologia, obteve-se a estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar, apresentado na Tab. 1.

Tabela 1- Consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar e o valor desagregado representando o consumo do chuveiro elétrico, em kWh

	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Consumo total domiciliar	203	211	205	218	239	215	230	230	254	232	236	239
Chuveiro	61	63	61	65	72	64	69	69	76	70	71	72

Com os valores estimados de consumo de energia apresentados na Tab. 1, apresentam-se na Tab. 2 os valores relativos ao uso da energia elétrica total e para o chuveiro elétrico.

Tabela 2 - Estimativa do custo da energia elétrica consumida por domicílio

	Consumo, kWh	Custo, R\$
Anual	2712	1.220,40
Chuveiro	813	365,85
Média mensal	226	101,70
Média mensal do chuveiro	68	30,60

Utilizando o software TRNSYS, versão 17, para análise do desempenho térmico de sistemas de aquecimento solar, foram simuladas diferentes configurações de SAS, todas operando no modo termosifão. O TRNSYS é um programa com estrutura modular, onde todos os componentes dos sistemas estão separados individualmente e disponíveis de maneira organizada na biblioteca padrão do programa (Keilholz, 2010). Cada componente é modelado através de equações matemáticas que descrevem seu comportamento físico, como por exemplo, módulos que calculam a radiação solar sobre superfícies inclinadas utilizando os diversos modelos de estimativa de radiação.

Primeiramente foram simulados sistemas com diferentes volumes de reservatórios térmicos: o primeiro sistema com área de coletor de 1,73 m<sup>2</sup> e reservatório térmico de 200 L, o segundo e terceiro com a mesma área e reservatório de 300 L e 400 L, respectivamente, cujos resultados são mostrados nas Tabs. 3, 4 e 5. Os resultados das simulações não mostraram variações significativas da fração solar anual em função dos volumes dos reservatórios analisados. Neste contexto entende-se que o reservatório de 200 L seja a melhor opção para a aplicação de aquecimento solar para as condições estabelecidas, apresentando a melhor relação custo/benefício.

Também foram simulados dois sistemas, com áreas de coletor de 2 e 3,46 m<sup>2</sup>, ambos com reservatório térmico de 200 L, cujos resultados são apresentados nas Tabs. 6 e 7. Os sistemas com áreas de 1,73 m<sup>2</sup> e 3,46 m<sup>2</sup> representam um e dois coletores comerciais em paralelo enquanto o coletor de 2 m<sup>2</sup> foi utilizado como uma situação intermediária entre os outros dois casos.

Como sistema de energia auxiliar foi utilizado o próprio chuveiro elétrico, fornecendo a energia necessária para que a temperatura da água de consumo atingisse o valor de 40 °C. O consumo de água quente para as três simulações foi de 40 L/(pessoa.dia).

Os resultados da simulação são apresentados nas Tab. 3, 4 e 5. Nessas tabelas,  $L_{S,i}$  é a energia fornecida pelo SAS,  $L_{A,i}$  a energia auxiliar,  $L_{w,i}$  é a energia necessária para aquecer a água até a temperatura especificada, e  $\mathcal{F}$  é a fração solar anual, definida como a relação entre a energia térmica produzida pelo SAS e a energia necessária para atender uma dada demanda de água quente.

Os resultados das simulações são apresentados utilizando como referência os conceitos de fração solar mensal,  $f_i$ , e fração solar anual,  $\mathcal{F}$ , ambos definidos por Duffie e Beckman (2006). Assim, conforme a Eq. 1, assume-se que:

$$L_w = L_A + L_S \quad (1)$$

Para o mês  $i$ , a fração solar é definida conforme a Eq.2:

$$f_i = \frac{L_{w,i} - L_{A,i}}{L_{w,i}} = \frac{L_{S,i}}{L_{w,i}} \quad (2)$$

Aplicando-se o mesmo conceito em base anual, integrando-se as quantidades de energia ao longo do ano, tem-se a fração solar anual, definida pela Eq. 3:

$$\mathcal{F} = \frac{L_w - L_A}{L_w} = \frac{L_S}{L_w} = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_{w,i}}{\sum_{i=1}^{12} L_{w,i}} \quad (3)$$

Como pode ser notada, a fração solar anual aumenta com o aumento da área de coletor solar. Em termos de dimensionamento de sistemas, costuma-se utilizar valores de fração solar anual entre 0,6 a 0,7, entendido como um compromisso entre o custo do sistema e a energia economizada, situação atendido pelo caso 1.

Utilizando dois coletores em paralelo, a área passa de 1,73 m<sup>2</sup> para 3,46 m<sup>2</sup>, produzindo valores de fração solar anual de 0,89. Como solução comparativa entre os dois casos analisados, estudou-se o uso de um coletor solar com área de 2 m<sup>2</sup>, que corresponde a uma situação intermediária entre as duas configurações. Nessa situação, a fração solar anual

fica em 0,76. Para analisar economicamente estas configurações foram utilizados valores de equipamentos encontrados na região metropolitana de Porto Alegre, no ano de 2013, mostrados na Tab. 8.

Tabela 3 - Resultados da simulação do caso 1 utilizando 1,73 m<sup>2</sup> de área do coletor e volume do reservatório de 200 L

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	583.833	13.661	595.447	0,98
Fevereiro	507.149	32.524	537.744	0,94
Março	524.324	73.170	595.447	0,88
Abril	399.006	179.214	576.237	0,69
Mai	259.315	338.179	595.447	0,43
Junho	195.989	382.231	576.237	0,34
Julho	191.532	405.960	595.447	0,32
Agosto	246.265	351.229	595.447	0,41
Setembro	377.399	200.821	576.237	0,65
Outubro	547.730	49.765	595.447	0,91
Novembro	558.403	19.829	576.237	0,96
Dezembro	596.610	0.906	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.583		
$F$				0,71

Tabela 4 - Resultados da simulação utilizando 1,73 m<sup>2</sup> de área do coletor e volume do reservatório de 300 L

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	592.504	6.985	595.447	0,99
Fevereiro	514.131	28.305	537.744	0,95
Março	527.656	72.201	595.447	0,88
Abril	394.638	185.172	576.237	0,68
Mai	258.704	338.347	595.447	0,43
Junho	189.465	386.363	576.237	0,32
Julho	184.674	407.809	595.447	0,31
Agosto	243.761	351.064	595.447	0,40
Setembro	365.470	208.989	576.237	0,63
Outubro	551.453	45.672	595.447	0,92
Novembro	562.749	15.116	576.237	0,97
Dezembro	597.492	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.023		
$F$				0,71

Tabela 5- Resultados da simulação utilizando 1,73 m<sup>2</sup> de área do coletor e volume do reservatório de 400 L

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	592.129	5.365	595.447	0,99
Fevereiro	512.550	27.123	537.744	0,95
Março	524.257	73.237	595.447	0,88
Abril	391.442	186.777	576.237	0,67
Mai	261.201	336.270	595.447	0,43
Junho	191.003	387.167	576.237	0,33
Julho	190.092	407.380	595.447	0,31
Agosto	247.754	349.729	595.447	0,41
Setembro	362.450	215.769	576.237	0,62
Outubro	553.298	44.198	595.447	0,92
Novembro	564.607	13.613	576.237	0,97
Dezembro	597.465	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.628		
$F$				0,71

Tabela 6 - Resultados da simulação do caso 2 utilizando 3,46 m<sup>2</sup> de área do coletor

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	595.789	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	539.671	0,00	537.744	1,00
Março	597.486	0,00	595.447	1,00
Abril	578.196	0,00	576.237	1,00
Maio	463.424	134.069	595.447	0,77
Junho	367.498	210.721	576.237	0,63
Julho	370.624	226.862	595.447	0,62
Agosto	442.770	154.724	595.447	0,74
Setembro	549.576	28.643	576.237	0,95
Outubro	597.493	0,00	595.447	1,00
Novembro	578.215	0,00	576.237	1,00
Dezembro	597.493	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		756.728		
$F$				0,89

Tabela 7 - Resultados da simulação do caso 3 utilizando 2 m<sup>2</sup> de área do coletor

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	$f_i$
Janeiro	595.773	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	528.042	11.638	537.744	0,98
Março	563.771	33.728	595.447	0,94
Abril	456.288	121.932	576.237	0,79
Maio	298.382	299.112	595.447	0,50
Junho	226.478	351.742	576.237	0,39
Julho	223.122	374.369	595.447	0,37
Agosto	283.870	313.624	595.447	0,47
Setembro	427.660	150.560	576.237	0,74
Outubro	588.233	9.263	595.447	0,98
Novembro	571.797	6.423	576.237	0,99
Dezembro	597.489	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		1.674.118		
$F$				0,76

No intuito de verificar as condições em que os SAS apresentam viabilidade técnica e econômica, foram construídos quatro cenários distintos, apresentados nos Quadros 1, 2, 3, e 4, e aplicados para as configurações descritas anteriormente. Os cenários são alimentados com informações de entrada como: valor do investimento, taxa de juros, tempo de vida útil e receita esperada. Essa análise tem o objetivo de mostrar resultados utilizando diferentes critérios nas informações quanto ao uso e ao custo de operação do SAS ao longo da vida útil.

Tabela 8 - Valores econômicos adotados para o sistema de aquecimento solar

Descrição	Valor, R\$
Coletor solar (m <sup>2</sup> )	289,00
Reservatório 200 L	1.200,00
Instalação	700,00
Vida útil do SAS	20 anos

Muitos critérios econômicos foram propostos e usados para avaliar e otimizar os sistemas que utilizam energia solar, mas mesmo assim, não há um acordo universal sobre qual deve ser usado (Duffie e Beckman, 2006). Para esse

estudo, os parâmetros avaliados para o consumidor são o tempo de retorno de investimento no SAS (*payback time*), o VPL (valor presente líquido) e a TIRM (taxa interna de retorno modificada). Tempo de retorno de investimento é o tempo necessário para o fluxo de caixa anual tornar-se positivo, isto é, o tempo necessário para que a economia financeira em energia elétrica do sistema convencional se iguale ao total investido no sistema de aquecimento solar, utilizando para isso a quantia economizada anualmente no consumo de energia elétrica.

VPL ou valor presente líquido é uma fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. É o cálculo de quanto os pagamentos futuros somados a um custo inicial estariam valendo atualmente.

Nesses cenários foi utilizado o TMA que é a taxa média de atratividade. Neste caso, considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%.

#### Quadro 1 – Cenário 1 para operação do SAS em região domiciliar

<b>Preço da energia:</b> Acréscimo em 3% ao ano, aumentando assim a receita
<b>Subsidio:</b> Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
<b>Manutenção:</b> Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
<b>Eficiência do sistema:</b> Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

#### Quadro 2 – Cenário 2 para operação do SAS em região domiciliar

<b>Preço da energia:</b> Constante
<b>Subsidio:</b> Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
<b>Manutenção:</b> Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
<b>Eficiência do sistema:</b> Diminuição do rendimento de 10% ao final da vida útil, ou seja, uma perda de rendimento de 0,5% ao ano

#### Quadro 3 – Cenário 3 para operação do SAS em região domiciliar

<b>Considerando:</b> Após a aquisição do sistema uma pessoa deixa o local, a economia diminuirá em 20%
<b>Preço da energia:</b> Constante
<b>Subsidio:</b> Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
<b>Manutenção:</b> Considerando 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
<b>Eficiência do sistema:</b> Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

#### Quadro 4 – Cenário 4 para operação do SAS em região domiciliar

<b>Preço da energia:</b> Constante
<b>Subsidio:</b> Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
<b>Manutenção:</b> Considerando gasto de R\$ 100,00/ano para realização de limpeza interna e externa dos coletores, substituição de canos e demais peças que possam dar problema
<b>Eficiência do sistema:</b> Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil

### 3. RESULTADOS

Os resultados da avaliação econômica utilizando os cenários descritos acima estão mostrados nas Tab. 9 a 11, onde o caso 1 representa o sistema com área de 1,73 m<sup>2</sup>, o caso 2 com área de 3,46 m<sup>2</sup> e o caso 3 o sistema com área de 2 m<sup>2</sup>. Todos os sistemas utilizando reservatório térmico de 200 L.

Tabela 9 – Resultado da análise econômica do caso 1

	Caso 1			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	7	9	11	13
VPL (R\$)	4.519,12	2.005,14	1.292,37	964,15
TIRM (%)	10,71	8,24	7,29	6,79

Tabela 10 – Resultado da análise econômica do caso 2

	Caso 2			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	9	11	14	16
VPL (R\$)	4.019,12	1.505,14	792,37	464,15
TIRM (%)	9,67	7,22	6,28	5,78

Tabela 11 – Resultado da análise econômica do caso 3

	Caso 3			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	8	9	12	13
VPL (R\$)	4.441,12	1.927,14	1.214,37	886,15
TIRM (%)	10,53	8,06	7,11	6,62

Para a concessionária de energia elétrica, o parâmetro avaliado é a economia da expansão da rede e os ganhos na energia conservada anualmente sem o uso no horário de ponta. Com isso estima-se a quantia de energia que poderia ser poupada pela utilização do SAS a fim de diminuir o pico de demanda. Conforme mostrado nas Tab. 3, 4 e 5, para cada uma das configurações utilizadas, a economia de energia por domicílio é obtida através da conversão da energia solar absorvida pelo SAS em energia elétrica conforme Tab. 12.

Tabela 12 - Resultados da análise de economia de energia elétrica com o uso do SAS

	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	$L_{S,i}$ (kJ)	kWh	$L_{S,i}$ (kJ)	kWh	$L_{S,i}$ (kJ)	kWh
Janeiro	583.833	162	595.789	165	595.773	165
Fevereiro	507.149	141	539.671	150	528.042	147
Março	524.324	146	597.486	166	563.771	157
Abril	399.006	111	578.196	161	456.288	127
Mai	259.315	72	463.424	129	298.382	83
Junho	195.989	54	367.498	102	226.478	63
Julho	191.532	53	370.624	103	223.122	62
Agosto	246.265	68	442.770	123	283.870	79
Setembro	377.399	105	549.576	153	427.660	119
Outubro	547.730	152	597.493	166	588.233	163
Novembro	558.403	155	578.215	161	571.797	159
Dezembro	596.610	166	597.493	166	597.489	166
Anual		1.385		1.744		1.489

Os quatro cenários considerados na análise tiveram apenas uma variável alterada mantendo as demais constantes, como a variação do preço da energia, redução do número de moradores, perda da eficiência de conversão do sistema e com custo de manutenção. Todos os sistemas demonstraram ser pouco atrativos no ponto de vista de investimento por parte do consumidor, já que o menor tempo de retorno foi de 7 anos para o SAS com coletor de 1,73 m<sup>2</sup>, conforme o

Cenário 1. Nessa análise foram utilizados valores comerciais unitários dos equipamentos e sem nenhum incentivo ou subsídio do Governo ou da concessionária.

Com o aumento da demanda de energia elétrica nesse setor e seu uso intensivo no horário de ponta, foi estimado por Colle et al. (2003) que o custo de expansão da rede elétrica para suprir essa demanda possa estar em torno de US\$ 980,00 por chuveiro instalado.

A economia da expansão na rede para uso do chuveiro elétrico no horário de ponta é determinada pela diferença entre o custo anual da energia auxiliar utilizada pelo SAS e o modo tradicional, ou seja, o chuveiro nos casos 1, 2 e 3, conforme mostra Tab. 13.

Tabela 13 - Resultados da análise econômica na expansão da rede elétrica

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Custo de expansão (US\$)	980,00	980,00	980,00
Custo de energia auxiliar/custo do chuveiro elétrico	255,82/365,85	94,59/365,85	209,26/365,85
Economia de energia por domicílio (%)	30	74	43
Economia (US\$)	294,00	725,20	421,40

#### 4. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi simulado, para um ciclo meteorológico de um ano, o comportamento de três sistemas de aquecimento de água com energia solar, com o mesmo volume de reservatório térmico, mas com três áreas de coletores diferentes e analisados a partir do uso do parâmetro fração solar anual. Em todos os casos simulados, o chuveiro elétrico atuou como o sistema de aquecimento auxiliar. A análise econômica do investimento para o usuário final foi feita utilizando-se os conceitos de *VPL* ou valor presente líquido e a *TIRM*, taxa interna de retorno modificada, além do tempo de retorno de investimento (*payback time*).

Os resultados técnicos mostram ser recomendável a utilização de SAS para aquecimento de água para banho, em substituição parcial do chuveiro elétrico, alcançado frações solares anuais acima de 70% para as três configurações analisadas. Os três casos apresentaram reduções da conta de energia elétrica paga pelo consumidor de 30%, 74% e 43%, respectivamente. Para a análise econômica ao consumidor, sem nenhum incentivo na compra do SAS, os resultados mostram um tempo de retorno variando entre 7 a 16 anos, dependendo do cenário escolhido.

A *TIRM* apresentou valores superiores à taxa de juros utilizada no presente trabalho, 5%, tendo uma variação de 5,8 a 10,7% ou seja, são valores aceitáveis em um planejamento econômico. Analisando uma situação de aquisições de centenas de unidades de SAS, certamente o valor de investimento diminuirá, como resultado diminuindo também o tempo de retorno de investimento e melhorando a *TIRM*.

A criação dos cenários e os resultados das análises econômicas apontam para uma incerteza muito grande sobre a viabilidade econômica de aquisição de SAS pelo usuário final, pois o período de análise é muito longo e suscetível a muitas variáveis durante o período. No entanto, utilizando-se sistemas de aquecimento solar para aquecimento ou pré-aquecimento de água, é possível reduzir a sobrecarga do sistema elétrico no horário de ponta, produzindo uma economia superior a 50% em termos de expansão do sistema. A não utilização do chuveiro elétrico no horário de ponta pouparia, ao longo de 20 anos, em torno de 4.890 kWh a 12.056 kWh de energia elétrica, dependendo do modelo de SAS utilizado. Desta forma, fica claro que a utilização de SAS é viável, porém o investimento deve ser efetuado segundo uma política que considere os beneficiários de tal ação.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FINEP, através da Chamada Pública Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009, Rede 22 - Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social, Convênio 0924/10 e pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, através da concessão de uma bolsa DTI-C para o autor principal do trabalho. Mario H. Macagnan agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora.

#### REFERÊNCIAS

- 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. In: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY - SOLAR WORLD CONGRESS, Proceedings of the ISES. Suecia, 2003.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 3. ed. New York: John Wiley, 2006.
- Keilholz, W. TRNSYS 17: Transient System Simulation Program: using the simulation studio. USA, 2010. v. 2



- Naspolini, H. F., Ruther, R. Agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular: impactos sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico. In: III CBENS; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Belém, 2010.
- Passos, L. A. A. Um estudo sobre os impactos técnicos e econômicos da agregação do aquecimento solar de água nos domicílios brasileiros. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 126 p. 2011.
- Portolann, C. A., Lafay, J-M.S., Kolzer, J. F., Silva, J., Slongo, B. L. Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras Restringindo o Uso de Chuveiros Elétricos. Congresso Internacional de Distribución Eléctrica CIDEL, Buenos Aires, 2010.
- Trzesniewski, J. A., 1995. Electric utility interest in solar energy systems. Master of Science – University Wisconsin, Madison.

#### **ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE USE OF SOLAR HEATING SYSTEMS IN LOW INCOME HOMES**

**Abstract.** *The contribution of alternative energy sources to diversify the Brazilian energy matrix is important, mainly due to increased demand of electricity consumption. Part of this increase is due to the simultaneous use of thousands of electric showers, mostly during peak hours. The use of solar energy systems (SWHS) for heating water meets this purpose. After the analysis of the average monthly consumption of electricity provided by the utility in the period of one year in a residential complex in the city of Canoas, RS, was possible to estimate the cost of using electric showers, per household. The relationship between energy demand for water heating and energy produced by SWHS was parameterized using the concept of monthly and annual solar fraction. The results obtained in three simulated cases showed that it is possible to obtain an average savings to the consumer of 43 % of energy used by electric shower and energy savings estimated at up to 12,056 kWh for the electricity system over 20 years.*

**Key words:** *Solar energy, Solar Water Heating System, Electric Shower, Solar Fraction.*