

# AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO BANHO NA HABITAÇÃO POPULAR

**Helena Flávia Napolini** – helena@eel.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Elétrica

**Ricardo Rütther** – ruther@mbx1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo apresentar um método para avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular através de técnicas de medição e verificação da demanda e da energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados, instalados em moradias populares em Florianópolis, Santa Catarina. Para a tecnologia adotada e para os 12 meses do período analisado, os resultados mostram que a agregação da energia solar ao banho proporcionou economia anual de energia elétrica de 38%, redução anual da demanda no horário de ponta de 42%, custo anual evitado decorrente do adiamento de investimentos na expansão do sistema elétrico de R\$137,76/unidade consumidora e custo anual evitado decorrente da redução de despesas operacionais de R\$ 28,48/unidade consumidora. Os resultados mostram ainda que a agregação da energia solar ao banho pode proporcionar a obtenção de recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para energias renováveis, de aproximadamente R\$ 4,10/unidade consumidora. Finalmente, os resultados mostram que investimentos em projetos de inserção da energia solar com taxa de desconto anual de até 9,0% apresentam atratividade financeira.

**Palavras-chave:** Energia solar, aquecimento solar da água para o banho, gerenciamento pelo lado da demanda.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora os níveis de irradiação solar no Brasil sejam muito elevados, variando de aproximadamente 1.500 kWh/m<sup>2</sup>/ano, no Sul, a 2.100 kWh/m<sup>2</sup>/ano na região nordeste do país (Pereira et al., 2006 e Pereira et al., 2008), e o aquecimento de água para o uso doméstico com o aproveitamento da energia solar seja considerada uma tecnologia simples e de fácil uso, fazendo com que a energia solar seja uma escolha natural para o aquecimento da água para o banho (Goldenberg et al., 2004 e Rosa & Lomardo, 2004), a energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em aproximadamente 73,5% dos domicílios brasileiros. O chuveiro elétrico está presente em 73,1 % dos domicílios brasileiros, com percentuais de distribuição de posse bem diferenciados nas diversas regiões do país (Sul (98,6%), Sudeste (90,7%), Centro-Oeste (85,1%), Nordeste (30,3%) e Norte (4%)) (ANEEL/Eletrobras/Procel, 2007). O chuveiro elétrico está maciçamente presente nas residências das regiões sul, sudeste e centro-oeste, predominando na região sul, onde aproximadamente 99% dos domicílios o possuem para fins de aquecimento da água para o banho.

No setor residencial, o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de aquecimento de água, seguido de refrigeração e iluminação e o chuveiro elétrico é responsável em média por 24% (ANEEL/Eletrobras/Procel, 2007) do consumo residencial no país. A curva de carga diária do sistema de distribuição de energia elétrica do sistema interligado Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresenta aumento de demanda de potência no período entre 18 e 21 horas (horário de ponta), com pico de demanda em torno das 19 horas. O segmento residencial responde por significativa parcela deste pico, e o chuveiro elétrico é um dos equipamentos que mais contribuem para que isto ocorra. Para a concessionária de energia elétrica, os chuveiros elétricos representam um sério inconveniente, já que funcionam principalmente no horário de ponta, com elevada potência (de 4,4 a 7,7 kW) e reduzido período de uso. Os chuveiros elétricos são alvos de políticas de conservação de energia já que funcionam principalmente no horário de ponta com elevada potência (aproximadamente 60% da carga residencial do país nas horas de pico de consumo (www.eletrobras.com, 2009)) e reduzido período de uso, resultando em baixos fatores de carga.

A utilização intensiva dos sistemas termossolares em substituição aos chuveiros elétricos pode ser entendida como geração virtual de energia elétrica (Pereira et al., 2003). Os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica e a queda nos custos dos sistemas termossolares verificadas nos últimos anos, tornam esta tecnologia uma tendência a ser adotada em praticamente todas as camadas sociais (Fantinelli et al., 2006). Entretanto, os elevados custos iniciais do sistema termossolar ainda continuam sendo um dos maiores obstáculos ao seu uso generalizado (Glillingham, 2009). Visando contribuir para que a energia solar seja largamente incorporada à moradia popular, este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar ao banho, considerando a interação entre critérios técnicos, econômicos e ambientais.

## 2. MÉTODO

Naspolini & Rütther (2011) estudaram a distribuição do recurso solar em Florianópolis no ano de 2004, constatando que o ano de 2004 pode ser considerado um ano típico e que embora Florianópolis esteja localizada na região do país onde são observados os menores valores para a irradiação solar global no Brasil, a energia solar se apresenta abundante e bem distribuída durante todo o ano. Visando levantar os perfis de consumo de energia elétrica com o banho, os consumidores foram selecionados através de um questionário para identificação dos perfis de consumo de água quente, baseado no modelo proposto por Vine et al. (1987) e Abreu et al. (2004), resultando num conjunto final de 90 famílias classificadas. A amostra das 90 famílias apresenta renda familiar média de aproximadamente cinco salários mínimos. O domicílio integrante da classe amostral selecionada para este estudo é generalizado por um padrão de três pessoas por habitação de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro. Para comparar os desempenhos dos grupos classificados pela posse da energia para fins de aquecimento da água para o banho, o grupo total de 90 consumidores foi dividido em dois subgrupos, um com 60 consumidores (Grupo “SE”), com sistema solar para pré-aquecimento da água e chuveiro elétrico do tipo “potência ajustável” no ponto de uso (energia solar assistida por energia elétrica) e um segundo grupo, composto de 30 consumidores (Grupo “E”), que teve o suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável” no ponto de uso (energia elétrica). O segundo grupo foi utilizado como referência tanto para avaliar a energia economizada como para avaliar a redução da demanda ativa, no horário de ponta, proporcionada pela agregação da energia solar térmica.

Em cada unidade consumidora selecionada foi instalado um medidor digital de energia elétrica marca ELO 2113 (ELO, 2002) junto ao quadro de distribuição da instalação elétrica, conectado em série com o circuito do chuveiro elétrico. Todos os chuveiros elétricos utilizados são do tipo “potência ajustável” com controle de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo), de mesmo modelo e fabricante, marca Botega, modelo Thermo System, tensão nominal = 220 V e ajuste de potência manual até 6,8 kW. Durante os 12 meses de 2004, para ambos os grupos, foram medidos dados individuais de demanda ativa, reativa, tensão de operação e do fator de potência dos chuveiros elétricos, em intervalos de cinco minutos.

O sistema monitorado é o sistema de aquecimento solar de baixo custo (ASBC) com restrições de custo e de demanda máxima, proposto por Salazar et al (2003), Abreu et al (2004), Colle et al (2004) e Salazar et al.(2005), típico caso de sistemas de circulação natural. Tais sistemas funcionam como termossifão, possuem coletor solar do tipo plano (área de placa de 1,4 m<sup>2</sup>, aletas de cobre) acoplado a reservatório térmico de 100 litros e foram instalados sobre o telhado. Apresentam vida útil de 15 anos e custo total de R\$ 1.330,00, dos quais R\$ 1.150,00 = custo de equipamentos (painel + reservatório) e R\$ 180,00 = custo de instalação do sistema solar (Solares, 2008). O aquecimento auxiliar foi proporcionado apenas pelo chuveiro elétrico com potência variável. Naspolini et al. (2010) constaram que ambos os grupos analisados apresentam comportamentos similares quanto à frequência (1 banho/pessoa.dia) e duração do banho (5,15 minutos). Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar sobre o consumo de energia elétrica, para ambos os grupos, foram obtidas as curvas mensais de demanda ativa, em intervalos de cinco minutos. Para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos as energias consumidas com o banho, em intervalos de 5 minutos, podem ser obtidas conforme mostra a Eq. (1).

$$E = D \cdot \frac{5}{60} \quad (1)$$

Onde:

$E$  - Energia elétrica consumida com o banho, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;

$D$  - Demanda ativa, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

Para cada grupo as energias consumidas com o banho podem ser obtidas pela soma das energias consumidas a cada intervalo de cinco minutos integrante do intervalo de tempo especificado.

A Eq. (2) apresenta a energia economizada/unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado.

$$EE = E_E - E_{S+E} \quad (2)$$

Onde:

$EE$  - Energia economizada/unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, expressa em kWh;

$E_E$  - Energia consumida/por unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, referente ao grupo que teve suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por energia elétrica, em kWh;

$E_{S+E}$  - Energia consumida/unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, referente ao grupo que teve suprimento de água quente para o banho fornecido por energia solar assistida por energia elétrica, em kWh.

A Eq. (3) apresenta a redução da demanda no horário de ponta/unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado.

$$RDP = D_E^{MAX} - D_{S+E}^{MAX} \quad (3)$$

Onde:

$RDP$  - Redução da demanda no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 15 minutos, no intervalo de tempo especificado, expressa em kW;

$D_E^{MAX}$  - Máxima demanda no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 15 minutos, no intervalo de tempo especificado, causada pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kW;

$D_{S+E}^{MAX}$  - Máxima demanda no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 15 minutos, no intervalo de tempo especificado, causada pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kW.

O horário de ponta consiste, para todos os dias úteis da semana, do período entre 18h30min e 21h30min. As curvas mensais da demanda, em intervalos de 15 minutos, podem ser obtidas pela integralização das demandas ativas, a cada três intervalos de cinco minutos. Através das curvas mensais obtidas, podem ser identificados e comparados seus valores máximos e os respectivos horários de suas ocorrências. A redução anual da demanda, em intervalos de 15 minutos, pode ser obtida através da Eq. (3), aplicada para os 12 meses do período analisado. Este trabalho considera os sistemas termossolares como “fontes virtuais” de energia que reduzem o consumo de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN) e conseqüentemente reduzem as emissões de gases de “Efeito Estufa”. Foi adotada a Metodologia ACM0002, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto ([www.unfccc.com](http://www.unfccc.com), 2008), para calcular a emissões evitadas de gases de “efeito estufa” proporcionadas pela agregação da energia solar. A Tab. 1 apresenta os fatores de emissão médios de CO<sub>2</sub> equivalentes, expressos em toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh, para a margem de construção e para a margem de operação para o SIN do Brasil.

Tabela 1. Fatores médios de emissão de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub> / MWh) – MDL  
(Fonte: [www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br), 2008)

Margem de construção												
Fator de emissão médio (t CO <sub>2</sub> /MWh) – anual												
0,1458												
Margem de operação												
Fator de emissão médio (tCO <sub>2</sub> /MWh) – mensal												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0,57	0,62	0,58	0,45	0,46	0,52	0,44	0,43	0,41	0,44	0,33	0,47	

A Eq. (4) apresenta para o período y, o cálculo do fator de emissão médio de CO<sub>2</sub> da linha de base, expresso em toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh.

$$F_y = K_i \cdot FO_y + (1 - K_i) \cdot FC_{sy} \quad (4)$$

Onde:

$F_y$  - Fator de emissão médio de CO<sub>2</sub> equivalente, no período y, expresso em toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh;

$K_i$  - Fator de ponderação da margem de operação para um projeto tipo i (= 0,75 para energia solar e eólica);

$FO_y$  - Fator de emissão associado à margem de operação, no período y, expresso em toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh;

$FC_{sy}$  - Fator de emissão da margem de construção, para o sistema s, no período y, expresso em toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh.

As emissões evitadas no período y, expressas em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, são calculadas multiplicando-se a energia economizada (Eq. (2)) proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água pelo fator de emissão da linha de base (Eq. (4)). As Eq. (5) e (6) apresentam os custos anuais evitados devido à energia economizada e à demanda evitada.

$$CE = CEE * EE \quad (5)$$

$$CD = CED * RDP \quad (6)$$

Onde:

CE - Custo anual evitado/unidade consumidora devido à energia anual economizada, expresso em R\$;

CEE - Custo unitário evitado devido à energia economizada, expresso em R\$/MWh;

EE - Energia anual economizada/por unidade consumidora, expressa em MWh/ano;

CD - Custo anual evitado/unidade consumidora devido à redução anual da demanda no horário de ponta, expresso em R\$;

CED - Custo unitário evitado devido à redução da demanda ativa no horário de ponta, expresso em R\$/MWh;

RDP - Redução anual da demanda no horário de ponta/unidade consumidora, expressa em kW.

Os valores dos custos unitários evitados coincidem com os valores utilizados pela concessionária local (Celesc) para avaliar Projetos de Eficiência Energética para Sistemas em Média e Alta Tensão e Sistemas de Baixa Tensão Subterrâneos. Para o ano de 2008, foi adotado para CEE o valor de R\$ 143,80/MWh e para CED o valor de R\$ 430,51/kW.ano ([www.celesc.com.br](http://www.celesc.com.br), 2010). As emissões evitadas, aliadas ao fato de que, projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para energias renováveis possuem adicionalidade “a priori”, possibilitam a obtenção de recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE) através de projetos de MDL. Cada crédito RCE equivale a 1 ton CO<sub>2</sub> equivalente evitada. Sua cotação diária pode ser obtida em [www.europeanclimateexchange.com](http://www.europeanclimateexchange.com) e [www.carbonpositive.net](http://www.carbonpositive.net). A Eq. (7) apresenta o benefício anual proporcionado pela agregação da energia solar térmica ao banho.

$$B = CE + CD + RCE \quad (7)$$

Onde:

B - Benefício anual proporcionado pela agregação da energia térmica ao banho, expresso em reais;

CE - Custo anual evitado devido à energia anual economizada, expresso em R\$/MWh;

CED - Custo anual evitado devido à demanda anual evitada, expresso em R\$/kW. Ano;

RCE - Recursos anuais oriundos da Redução anual Certificada de Emissões, obtidos através de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para energias renováveis, expressos em R\$.

As análises financeiras do retorno do investimento são feitas através de simulações de cálculos do *payback*, do valor presente líquido (VPL) e da relação de custo-benefício (RCB), para distintas taxas de retorno do capital.

O Valor Presente do Capital pode ser calculado através da Eq. (8).

$$F_{CC}(t) = -I + \sum_{j=1}^t \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j} \quad (8)$$

Onde:

$$1 \leq t \leq n$$

$F_{CC}(t)$  - Valor presente do capital, expresso em reais;

$I$  - Investimento inicial, expresso em reais;

$R_j$  - Receita proveniente do ano j, expressa em reais;

$C_j$  - Custo proveniente do ano j, expresso em reais;

$i$  - Taxa anual de juros empregada;

$j$  - Índice genérico que representa o período j = 1 a t;

$n$  - Vida útil do equipamento, expressa em anos.

Para  $F_{CC}(t) = 0$ , t (assumindo valor inteiro) corresponde ao *payback* descontado. Se  $F_{CC}(t) < 0$ , a interpolação para determinar t fracionário, é executada no intervalo j - 1. O VPL representa o valor presente total final do projeto e pode ser calculado através da Eq. (8). Se VPL for maior do que zero, o retorno do dinheiro investido no projeto é maior do que o custo do capital. A relação custo-benefício pode calculada através da Eq. (9).

$$RCB = \frac{\text{Custos Anualizados}}{\text{Benefícios Anualizados}} \quad (9)$$

Os benefícios anualizados proporcionados pelo sistema termossolar podem ser calculados através da Eq. (8) e os custos anualizados do sistema termossolar podem ser calculados através da Eq. (10).

$$CA_{equip} = CPE_{equip} \times FRC \quad (10)$$

Onde:

$CA_{equip}$  - Custo anualizado do sistema termossolar;

$CPE_{equip}$  - Custo do equipamento acrescido da parcela correspondente a outros custos diretos e indiretos;

FRC - Fator de recuperação do capital.

O fator de recuperação do capital pode ser calculado através da Eq. (11).

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$

Onde:

FRC - Fator de recuperação do capital;

i - Taxa anual de juros empregada;

n - Vida útil do equipamento, expressa em anos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta, por unidade consumidora, para ambos os grupos (“E” e “SE”), a evolução horária da energia elétrica anual consumida com o banho e da energia elétrica anual economizada.

Os resultados mostram ganhos anuais em economia de energia elétrica insignificantes no intervalo de tempo compreendido entre 1 e 12:00 horas (meio dia). Entretanto, a partir do meio dia, observam-se ganhos significativos, compatíveis com o tamanho dos sistemas de aquecimento solares utilizados e com os perfis de consumo, totalizando no ano uma economia de energia elétrica/unidade consumidora de 198 kWh (38%). As diferenças de ganhos em economia de energia observadas entre os períodos 0 a 12 horas e 12 a 24 horas podem ser justificadas pela pequena capacidade de armazenamento do reservatório térmico e pelo fato de que o horário mais frequente de consumo de água quente situa-se no período subsequente ao pôr do sol. O hábito do banho no horário de ponta torna o uso da energia solar uma proposta muito interessante para reduzir tanto a demanda no horário de ponta como o consumo total de energia elétrica.

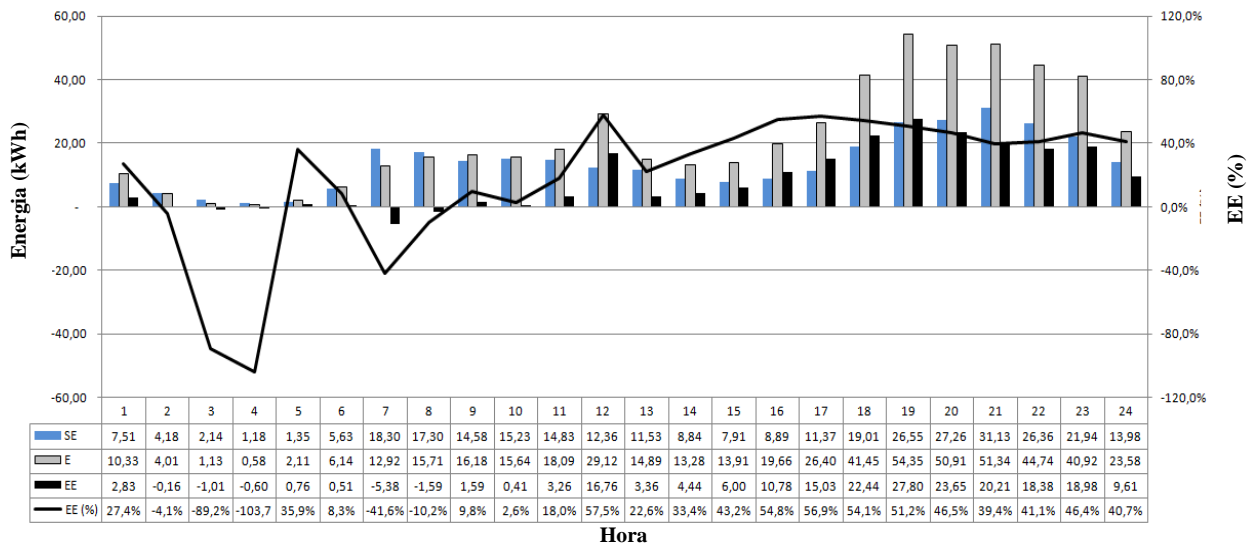


Figura 1- Evolução horária da energia elétrica anual consumida no banho pelo Grupo “SE” e pelo Grupo “E”, energia economizada (EE) e valores percentuais de energia economizada (EE%).

A Fig. 2 apresenta a evolução mensal dos valores máximos da demanda ativa, no horário de ponta, e a redução da demanda ativa, no horário de ponta (RDP), proporcionada pela agregação da energia solar.

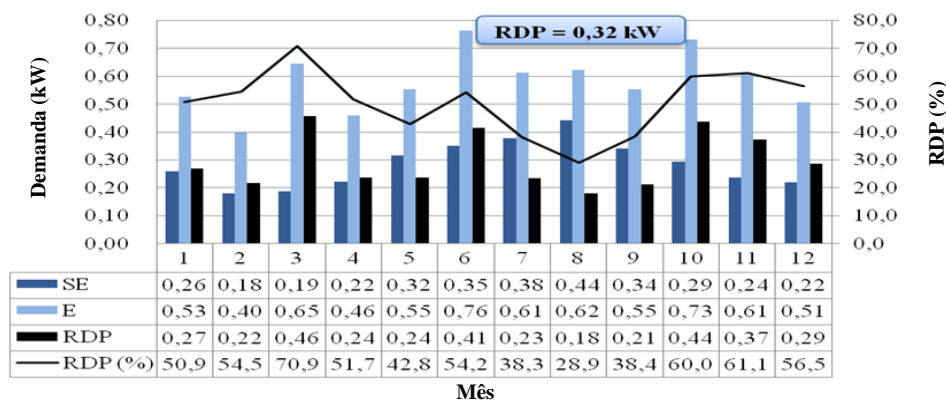


Figura 2- Evolução mensal dos valores máximos da demanda ativa e redução da demanda ativa no horário de ponta.

Os resultados mostram que a agregação da energia solar proporcionou redução significativa da demanda ativa no horário de ponta em todos os meses do ano. A menor redução da demanda ativa RDP = 0,18 kW (29%), foi registrada em agosto (inverno) e a maior redução RDP = 0,46 kW (71%) foi registrada em março (verão). No período analisado, a agregação da energia solar proporcionou RDP de 0,32 kW/unidade consumidora (42%).

As emissões evitadas e os custos evitados devido à energia economizada e à demanda evitada, foram calculadas para o ano de 2008, admitindo os mesmos hábitos de banho observados em 2004. A mesma premissa foi adotada para as análises financeiras do retorno do investimento para inserir o sistema termossolar na moradia popular.

A Fig. 3 apresenta a evolução mensal da energia economizada e as emissões médias de CO<sub>2</sub> equivalentes evitadas.

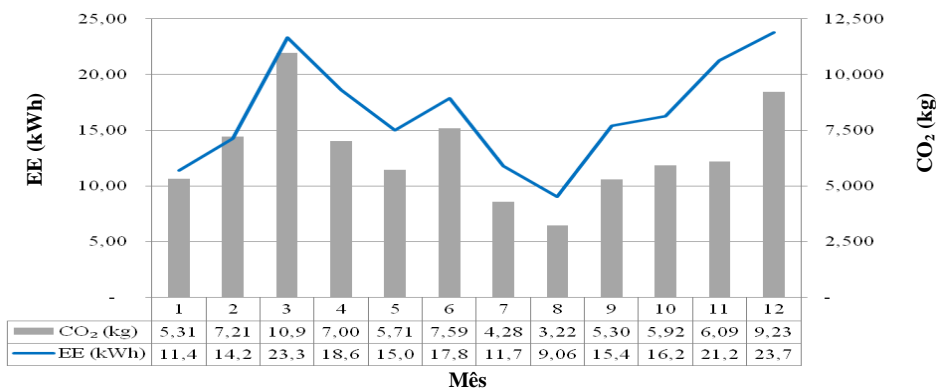


Figura 3- Evolução mensal das energias economizadas e das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas no ano de 2008.

As emissões anuais evitadas totalizaram 77,88 kg/unidade consumidora. Para uma economia anual de energia elétrica de 198 kWh e redução da demanda no horário de ponta de 0,32 kW, a agregação da energia solar resultou em custo da demanda evitada de R\$ 137,76/unidade consumidora e custo anual da energia economizada de R\$ 28,48/unidade consumidora. Adicionalmente, as emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes evitadas (77,88 kg/unidade consumidora), possibilitam ainda a obtenção de recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE), provenientes de projetos de MDL, de aproximadamente R\$ 4,10/unidade consumidora.

Sob a ótica do setor elétrico, as análises financeiras do retorno do investimento despendido para inserir o sistema termossolar na moradia popular foram feitas através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno do investimento “payback”, do VPL e da RCB, para distintas taxas de retorno do capital. Neste caso, considerou-se que o sistema de distribuição de água é parte integrante do projeto original da edificação e, portanto, não foi levado em consideração seu custo nas análises financeiras de retorno do investimento despendido. Adicionalmente, não foram considerados os custos anuais de manutenção do sistema solar térmico. Admite-se aqui que estes custos sejam absorvidos pelo consumidor, através dos recursos economizados pela agregação da energia solar. As taxas de retorno do capital adotadas neste trabalho correspondem a juros reais e, portanto, não apresentam embutidas taxas referentes à correção monetária. É importante ressaltar também que os cálculos apresentados tomaram como referência a utilização de coletores solares instalados no Residencial Solar Buona Vitta. As Fig. 4 a 6 apresentam, sob a ótica do setor elétrico, a evolução do “payback”, do VPL e da RCB para o sistema termossolar, considerando taxas de desconto variáveis de 0 a 9,5%, custo de instalação das linhas de água quente e custos anuais de manutenção do sistema solar térmico nulos. O sistema termossolar utilizado apresenta vida útil de 15 anos e custo total de R\$ 1.330,00, dos quais R\$ 1.150,00 correspondem ao custo de equipamentos (coletor + reservatório) e R\$ 180,00 correspondem ao custo de instalação do sistema solar (Solares, 2009). Nos cálculos econômicos os benefícios foram calculados, segundo as hipóteses abaixo relacionadas:

- a) Benefícios anuais/unidade consumidora:  $B = CE + CD$
- b) Benefícios anuais/unidade consumidora:  $B = CE + CD + RCE$

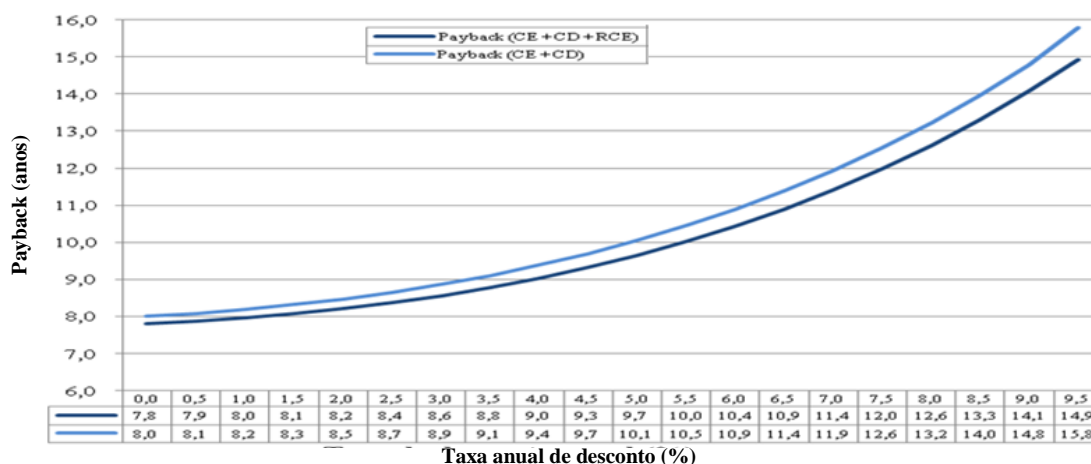


Figura 4- Evolução do tempo de retorno do investimento “payback” com a taxa de desconto anual

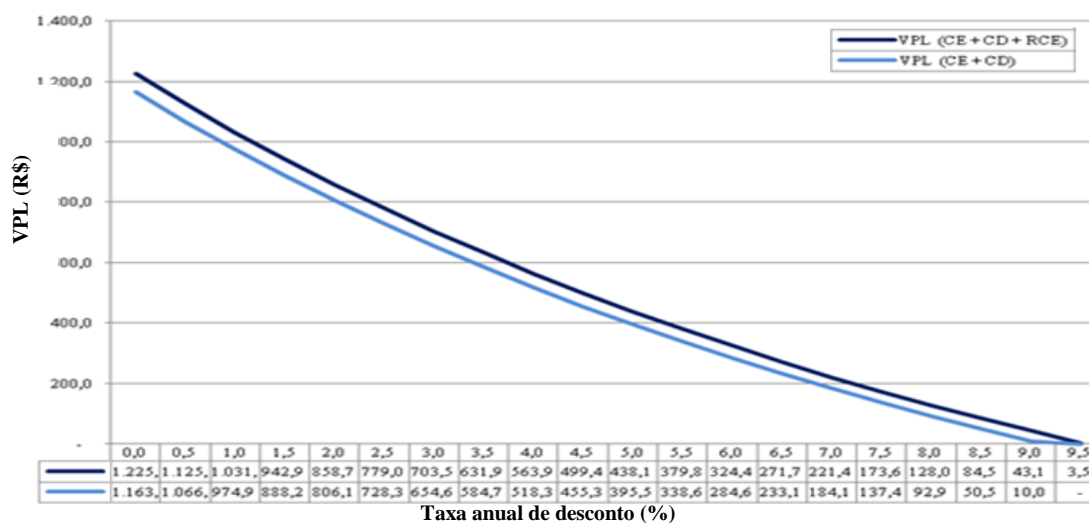


Figura 5- Evolução do VPL com a taxa de desconto anual

Para a hipótese a, os resultados mostram que para taxa de desconto anual de 0%, o sistema se paga em 8 anos, com VPL = R\$ 1.163,00 e RCB = 0,53. Para taxa de desconto anual de 5,5%, o sistema se paga em 10,5 anos, com VPL =

R\$ 338,60 e  $RCB = 0,80$ . Para taxa de desconto anual de 8%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 13,2 anos, com  $VPL = R\$ 92,90$  e  $RCB = 0,93$ . Nesta condição, os resultados mostram ainda que, sob a ótica do setor elétrico, investimentos em projetos de inserção da energia solar térmica na habitação popular com taxa de desconto anual maior do que 9% perdem a atratividade financeira.

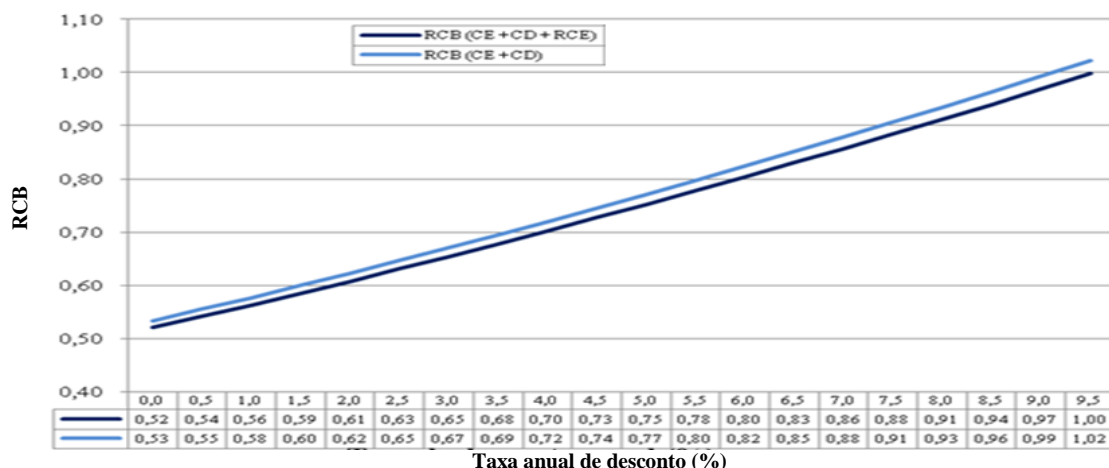


Figura 6- Evolução da RCB com a taxa de desconto anual

Devido aos elevados custos envolvidos nas etapas de elaboração, validação e certificação de Projetos de MDL, e ainda ao fato de que os recursos anuais oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE), proporcionados pela agregação da energia solar são pequenos (totalizaram apenas R\$ 4,10/unidade consumidora), projetos de MDL para agregação da energia solar térmica ao banho só se justificam para aplicação da tecnologia solar em larga escala. Para o consumidor final, as análises mostram que a economia anual de energia (198 kWh) proporcionou uma redução anual de despesas com energia elétrica de aproximadamente R\$ 84,12. Os benefícios para o consumidor (R\$ 500,00) além de garantirem as despesas anuais de manutenção dos sistemas solares (R\$ 50,00) podem financiar as linhas de água quente.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou como objetivo desenvolver um método para avaliar a viabilidade técnica e econômica da inserção da energia solar térmica na moradia popular. É importante destacar que não foi realizado um estudo estatístico detalhado, o período de medição foi limitado há um ano específico e os resultados apresentados são válidos para um grupo de famílias integrantes do Edifício Residencial Solar Buona Vita.

Este trabalho mostra que existe potencial para se financiar a inserção do sistema termossolar na moradia popular em condições favoráveis ao setor elétrico e ao consumidor final. Sob a ótica do setor elétrico, investimentos para aquisição do sistema termossolar (equipamento + instalação do equipamento) com taxa de desconto anual de até 9% apresentam atratividade financeira e ainda, recursos oriundos da RCE pouco afetam a atratividade financeira do investimento para a aquisição do sistema termossolar.

Os resultados mostram ainda que investimentos para a instalação das linhas de água quente com taxa de desconto de até 3,5% ao ano apresentam atratividade financeira e que os benefícios proporcionados (ao consumidor final) pela agregação da energia solar térmica ao banho, além de garantirem as despesas de manutenção dos sistemas termossolares (R\$ 50,00/ano), podem financiar a instalação das linhas de água quente.

Uma limitação do presente estudo é a falta de informações sobre perfis de consumo de água quente com o banho, em termos de vazão e temperatura da água quente consumida. Entretanto, através do critério de classificação das famílias e devido ao fato de que ambos os grupos analisados, utilizaram no ponto de uso, chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável”, de mesmo modelo e fabricante, pode-se afirmar que os grupos analisados apresentam perfis semelhantes de consumo de água quente.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Sérgio Colle da UFSC pelo acesso aos dados meteorológicos e dados registrados pelos medidores de energia elétrica instalados no Edifício Residencial Buona Vita; agradecem também Herbert Sancho Garcez Militão, Cleysson Pértile, Renato Matta Machado e Ernesto de Freitas Júnior pela colaboração prestada no decorrer deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

Abreu, S.L.; Salazar, J.P.L.C.; Colle, S. Impact of compact solar domestic hot-water systems on the peak demand of a utility grid in Brazil. In: Proceedings of EUROSUN 2004, Freiburg, Germany, 2004, pp. 1832-1840.  
ANEEL/Eletronbras/Procel. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005, Classe Residencial - Relatório Brasil, Julho de 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Consulta em Outubro de 2009.

- Celesc Distribuição SA. Projetos de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta: Julho de 2010.
- Comércio de Emissões. Disponível em: <<http://www.europeanclimateexchange.com>> e em: <<http://www.carbonpositive.net>>. Consulta em 18/09/2008.
- Colle, S., Abreu, S.L., Salazar, J.P.L.C.; Reguse, W. Impacto da energia solar sobre o pico de demanda de energia de chuveiros elétricos de famílias de baixa renda do Brasil. Proceedings of XII Congresso Ibérico y VII Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Spain, 2004, pp. 29-33.
- ELO Sistemas Eletrônicos S.A. Medidor Eletrônico de Energia Elétrica – Manual do Usuário, 2002.
- Fantinelli, J.T.; Pereira, J.T.V.; Pereira, E.M.D. As Ações para o Incentivo ao Uso de Sistemas Termossolares na Habitação Brasileira de Interesse Social. Proceedings of V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE, Brasília, Brasil, 2006, pp. 1-13.
- Gillingham, K. Economic efficiency of solar hot water policy in New Zealand. Energy Policy 37, 2009, pp. 3336-3347.
- Goldemberg, J., Coelho, S.T., Gol, O.L. How adequate policies can push renewable. Energy Policy 32, 2004, pp. 1141-1146.
- Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. Obtenção de toneladas de CO<sub>2</sub> do Grid. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Consulta em agosto de 2008.
- Naspolini, H.F., Rüther, R. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands. Solar Energy, 2011, Vol. (85), pp. 2023-2032.
- Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Rüther, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. Energy Conversion and Management, 2010, Vol. 51 (12), 2835-2845.
- Pereira, E.M.D.; Mesquita, L.C.S.; Neto, L.V.M.; Rocha, J.M.G.; Pereira, L.T.; Buonicontro, L.M.S.; Areguy, E.; Cunha, D.A. (2003a). Solar Water Heating for Social Housing Projects in Brazil: The Sapucaias Case. Proceeding of the SESCOI 2003 - Conference Queen's University Kingston, Ontário, Canadá, 2003, pp. 18-20.
- Pereira, E.B.; Martins, F.R., Abreu, S.L., Rüther, R. Atlas brasileiro de energia solar, INPE, São José dos Campos, Brazil, p. 31, ISBN 978-85-17-00030-0, 2006.
- Pereira, E.B., Silva, S.A.B., Abreu, S.L., Colle, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment, Energy Policy 36 (2008) 2853-2864.
- Rosa, L.P., Lomardo, L.L.B. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. Energy and Buildings 36, 2004, pp. 89-95.
- Salazar, J.P.L.C.; Abreu, S.L.; Borges, T.P.F.; Colle, S.; Reguse, W. Optimization of a compact solar domestic hot water system for low-income families with peak demand and total cost constraints. Proceedings of ISES-International Solar Energy Society. Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia, 2003, pp. 1048-1057.
- Salazar, J.P.L.C.; Abreu, S.L.; Colle, S. Energy conservation and electric energy peak reduction potential during peak hours for a group of low-income residential consumers of a Brazilian utility. Proceedings of Solar World Congress-ISES 2005, Orlando, USA, 2005, pp. 987-992.
- Solares. Produtos. Disponível em: <<http://www.solares-online.com.br>>. Consulta em dezembro de 2009.
- United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Methodological tool. CDM Executive Board, Anexo 12. EB35 Report. Disponível em: <<http://www.unfccc.com>>. Consulta em agosto de 2008.
- Vine, E.; Diamond, R.; Szydlowski, R. Domestic hot water consumption in four low-income apartment. Energy 12, 1987, pp. 459-467.

## **ASSESSING THE TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF LOW-COST DOMESTIC SOLAR HOT WATER SYSTEMS IN LOW-INCOME RESIDENTIAL DWELLINGS**

**Abstract.** *This work aims to present a method to assess the technical and economic viability, both from the electric utility's perspective and from the standpoint of low-income residential consumers, of solar thermal energy applied to water heating (shower only) in popular housing through methods of measurement and verification of demand and energy consumed by a group of monitored solar heating systems installed in low income housing in Florianópolis, Brazil. The results for the applied technology to a 12-month analyzed period show that the aggregation of solar energy to the bath provided an average of 38% annual electricity savings, annual reduction of 42% in peak-time electricity demand, annual avoided costs of \$ 78.30 per consuming unit due to the postponement of investments in the electrical system expansion, and annual avoided costs of \$ 16.20 per consuming unit due to the reduction of operational expenses. The results also show that the aggregation of solar energy to the bath can generate funds from the Certified Emission Annual Reduction, via projects of the Clean Development Mechanism for renewable energy, of approximately \$ 2.33 per consuming unit. Finally, the results show that investments in projects of implantation of solar energy with annual discount rate up to 9.0% present financial attractiveness.*

**Key words:** *Solar energy, solar water heating, demand side management.*