

IMPACTOS DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA SOBRE O CUSTO DO BANHO QUENTE QUANTO CUSTA UM BANHO QUENTE?

Helena Flávia Napolini – helenaf@eel.ufsc.br

Ricardo Rüther – ricardo.ruther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

Resumo. Este trabalho apresenta como objetivo desenvolver um método para avaliar, sob a ótica do setor elétrico, os impactos da agregação da energia solar térmica sobre o custo do banho quente, através de técnicas de medição da demanda e energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados. O método desenvolvido possibilita avaliar os impactos proporcionados pelo aquecimento solar da água sobre o consumo de energia elétrica, sobre a potência solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água e sobre o custo do banho quente. Adicionalmente, permite levantar perfis de consumo de energia elétrica com o banho. Para o período analisado, o método aplicado ao Edifício Residencial Solar Buona Vita, localizado em Florianópolis, mostra que a agregação da energia solar ao banho proporciona, por unidade consumidora, economia anual de energia elétrica de 198 kWh (38%) e potência ativa evitada no horário de ponta de 860 W (42%). Para o setor elétrico e por unidade consumidora, a agregação da energia solar ao banho proporciona custo anual evitado devido à energia economizada de R\$ 87,43 (38%), custo anual evitado devido à potência evitada no horário de ponta de R\$ 539,23 (42%) e custo anual total evitado de R\$ 626,65 (41%). Este trabalho mostra claramente que existe, para o setor residencial, uma distorção no modelo de cobrança das contas de energia elétrica no Brasil. A distorção consiste em considerar apenas o custo da energia, desprezando completamente o custo referente à disponibilidade de potência. Os resultados mostram que a concessionária lança na fatura de cada unidade consumidora aproximadamente 15% do custo do banho quente.

Palavras-chave: Energia solar, Custo do banho, Perfis de consumo de energia com o banho.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento da água para o banho em diversos países é feito principalmente pelo uso de sistemas a gás e da crescente utilização de sistemas termossolares. Sistemas domésticos de aquecimento solar da água, tecnologias simples e de fácil uso, são as aplicações mais populares da tecnologia solar (Kalogirou, 2013).

Em diversos países existem políticas públicas integradas para o incentivo à utilização da energia solar térmica. Apesar de seu clima temperado, a Alemanha é o líder europeu na utilização de sistemas de aquecimento solar. O mercado solar térmico alemão tem se beneficiado não somente do aumento dos preços da energia, mas também dos programas de subsídios concedidos pelo governo pela lei de energias renováveis para aquecimento (Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz-EEWärmeG) e pelo Programa de Estímulo ao Mercado - MAP (Marktanreizprogramm) (Elektrobras Procel, 2012). A Áustria é um dos países com maior uso *per capita* de aquecedores solares. Na Europa, os incentivos mais comuns têm sido os subsídios diretos, opção adotada pela Alemanha e Áustria e as reduções nas taxas para obtenção de crédito e incentivos adotados na França e na Itália (ESTIF, 2014).

Os recursos de irradiação solar no Brasil, além de abundantes, podem ser descritos como uniformemente distribuídos e com pequena variabilidade anual (Pereira et. al., 2006), o que torna a tecnologia termossolar a escolha natural para o aquecimento de água em edifícios residenciais (Goldenberg et. al., 2004, Rosa et al., 2004, Carlo et.al. 2008 e Sowmy et al., 2008). Os níveis médios anuais de irradiação global no Brasil, que são dos maiores do mundo, variam de aproximadamente 1.500 kWh/m² no sul a 2.100 kWh/m² na região nordeste (Pereira et al., 2008).

No Brasil, os sistemas termossolares (apesar de complementarem e contribuírem no aspecto energético e ambiental, tanto quanto outras fontes de energia) não são classificados como equipamentos geradores de energia elétrica e sim como equipamentos que promovem a eficiência energética e a partir de 2000, estão incorporados nas políticas de eficiência energética brasileiras. Nos últimos anos, o uso de sistemas de aquecimento solar em empreendimentos habitacionais de interesse social no país tem crescido substancialmente por meio de subsídios públicos. Em 2009 e 2010 através do Programa Minha Casa Minha Vida foram contratadas 1.005.028 unidades habitacionais, das quais 57% foram destinadas às famílias de baixa renda. Neste programa, o governo também decidiu incentivar a inserção do aquecedor solar em até 40.000 novas habitações no ano de 2010. Em 7 de julho de 2011 a Portaria nº 325 do Ministério das Cidades tornou obrigatório que projetos de empreendimentos compostos por unidades habitacionais unifamiliares contemplem sistemas de aquecimento solar. A produção nacional de coletores para sistemas de aquecimento solar cresceu 19,8% em 2013. Contribuíram para o bom resultado de 2013 principalmente os programas habitacionais que utilizam aquecimento solar e as leis de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar. Entretanto, devido à crise

financeira, em 2014 o crescimento do mercado de energia solar térmica no Brasil foi de apenas 4,5% (www.dasolabrava.org.br).

Embora o país já disponha de leis que tornam obrigatório a inserção de SAS em empreendimentos compostos por unidades habitacionais unifamiliares (Portaria nº 325 do Ministério das cidades), a energia elétrica é a principal fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho nos domicílios brasileiros. 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% do consumo residencial no país (Eletrobras Procel, 2007). 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 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 8 kW) e reduzido fator de carga. As concessionárias de energia elétrica, especialmente no horário de ponta, podem se beneficiar da melhor utilização da eletricidade disponibilizada pelo aquecimento solar da água para o banho. Para o consumidor, a agregação da energia solar ao banho diminui custos operacionais com transferência de renda para as famílias. Pelas razões anteriormente expostas e também devido aos custos evitados pelo setor elétrico e aos benefícios ambientais associados, sistemas domésticos de aquecimento solar para a população de baixa renda devem ser estimulados por políticas governamentais (Kalogirou, 2004, Napolini & Rütther, 2012, Napolini & Rütther (a), 2014).

2. MÉTODO

Este trabalho visa desenvolver um método para avaliar, sob a ótica do setor elétrico, os impactos da agregação da energia solar térmica sobre o custo do banho quente, a partir de dados de demanda elétrica registrados, no ano de 2004, por medidores de energia instalados em unidades consumidoras do Edifício Residencial Solar Buona Vita, localizado em Florianópolis - Brasil (Projeto de P&D LABSOLAR da UFSC/Celesc, ciclo 2001-2002, 2004).

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 dois quartos, sala, cozinha e banheiro. 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 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. 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) 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 m², aletas de cobre) acoplado a reservatório térmico de 100 litros e foram instalados sobre o telhado. O aquecimento auxiliar foi proporcionado apenas pelo chuveiro elétrico com potência variável. Em cada unidade consumidora selecionada foi instalado um medidor digital de energia elétrica, marca ELO 2113, 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 ano de 2004 pode ser considerado um ano típico e 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 (Napolini & Rütther, 2011). Em 2004, os Grupos E e SE apresentaram, no que diz respeito à duração média do banho (5 minutos) e frequência média diária de banhos (1banho/pessoa), comportamentos similares quanto ao banho (Napolini & Rütther, 2010, Napolini & Rütther (b), 2014).

As Eq. (1) e (2) descrevem respectivamente o comportamento da potência ativa solicitada pelo chuveiro à rede elétrica e do fator de potência, em função de α (Oliveira e Kassick, 2008).

$$P(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} \cdot \frac{[\pi - \alpha + \frac{1}{2}\sin(2\alpha)]}{\pi} \quad (1)$$

$$FP(\alpha) = \sqrt{\frac{[\pi - \alpha + \frac{1}{2}\sin(2\alpha)]}{\pi}} \quad (2)$$

Através das Eq. (1) e (2), obtém-se:

$$P(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} (FP(\alpha))^2 \quad (3)$$

onde:

- $P(\alpha)$ - Potência ativa, expressa em W;
 V_{ef} - Tensão eficaz da rede elétrica, expressa em V;
 α - Ângulo de disparo do triac, expresso em radianos;
 R - Valor do resistor ($R = 7,1 \Omega$);
 $FP(\alpha)$ - Fator de potência.

Para os 12 meses do período analisado e para cada unidade consumidora, através das respectivas tensões de operação e fatores de potência registrados pelos medidores de energia elétrica em intervalos de 5 minutos, foram obtidas as curvas das potências ativas solicitadas ao setor elétrico para aquecer a água para o banho, em intervalos de 5 minutos. Este trabalho admite que a potência ativa utilizada pelo chuveiro elétrico para aquecer a água para o banho é constante, a cada intervalo de 5 minutos, e foi estimada através da Eq. (3).

Para os 12 meses do período analisado e por grupo, através das curvas das potências ativas com o banho de cada unidade consumidora, foram obtidas as curvas mensais das potências ativas solicitadas ao setor elétrico para aquecer a água para o banho, em intervalos de 5 minutos. Tais curvas representam por grupo, uma unidade consumidora hipotética (unidade consumidora) que reflete a divisão das respectivas curvas de potência ativa mensal com o banho pelo número de unidades consumidoras atendidas. Através das curvas mensais de potência ativa podem ser identificados e comparados seus valores máximos, no intervalo de tempo especificado.

A Eq. (4) apresenta, para o período y e por unidade consumidora, a potência ativa evitada devido ao aquecimento solar da água para o banho.

$$PE_y = P_{Ey}^{max} - P_{SEy}^{max} \quad (4)$$

onde:

- PE_y - Potência ativa evitada, no período y , expressa em kW;
 P_{Ey}^{max} - Valor máximo mensal da potência ativa (Grupo E), no período y , expressa em kW;
 P_{SEy}^{max} - Valor máximo mensal da potência ativa (Grupo SE), no período y , expressa em kW.

Neste trabalho foram calculadas as potências ativas mensais evitadas e a potência ativa anual evitada proporcionada pela agregação da energia solar ao banho, no horário de ponta. O horário de ponta consiste, para todos os dias úteis da semana, do período compreendido entre 18h30min e 21h30min.

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar ao banho sobre o consumo de energia elétrica, para ambos os grupos, através das demandas ativas individuais registradas mensalmente pelos medidores de energia elétrica foram obtidas as curvas mensais de demanda ativa, em intervalos de 5 minutos. Tais curvas representam, por grupo, uma unidade consumidora hipotética que reflete a divisão das respectivas curvas de demanda ativa mensal com o banho pelo número de unidades consumidoras atendidas.

A Eq. (5) apresenta a energia elétrica consumida com o banho quente, calculada em intervalos de 5 minutos.

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

onde:

- E - Energia elétrica consumida com o banho, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;
 D - Demanda ativa medida, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

As energias consumidas com o banho quente podem ser obtidas pela soma das energias consumidas a cada intervalo de cinco minutos, integrante do intervalo de tempo especificado.

A Eq. (6) apresenta, por unidade consumidora, a energia economizada devido ao aquecimento solar da água para o banho.

$$EE_y = E_{Ey} - E_{SEy} \quad (6)$$

onde:

- EE_y - Energia economizada, no período y , expressa em kWh;
 E_{Ey} - Energia consumida com o banho (Grupo E), no período y , expressa em kWh;
 E_{SEy} - Energia consumida com o banho (Grupo SE), no período y , expressa em kWh.

A energia anual economizada, expressa em kWh e a potência ativa evitada no horário de ponta, expressa em kW, são os principais indicadores técnicos quantitativos para a avaliação econômica da agregação da energia solar ao banho na moradia popular.

As Eq. 7 a 9 apresentam, sob a ótica do setor elétrico e por unidade consumidora, o custo anual evitado devido à energia anual economizada, o custo anual evitado devido à potência evitada no horário de ponta e o custo total anual evitado proporcionado pela agregação da energia solar térmica ao banho.

$$CE = CEE.EE \quad (7)$$

$$CD = CED.PE \quad (8)$$

$$CT = CE + CD \quad (9)$$

onde:

- CE - Custo anual evitado devido à energia anual economizada, expresso em R\$;
- CEE - Custo unitário evitado devido à energia economizada, expresso em R\$/MWh;
- EE - Energia anual economizada, expressa em MWh;
- CD - Custo anual evitado devido à redução anual da potência no horário de ponta, expresso em R\$;
- CED - Custo unitário evitado devido à redução da potência no horário de ponta, expresso em R\$/kW.ano;
- PE - Potência evitada no horário de ponta, expressa em kW.
- CT - Custo anual evitado devido ao pré-aquecimento solar da água para o banho, expresso em reais.

Os custos unitários evitados, adotados neste trabalho, coincidem com os valores utilizados pela Celesc – Centrais Elétricas de Santa Catarina para selecionar Projetos de Eficiência Energética para sistemas residenciais B1. Para o Custo unitário Evitado de Energia foi adotado o valor de 441,57 R\$/MWh. Para o Custo Evitado da Potência foi adotado o valor do Custo Evitado da Demanda que corresponde a 627,01 R\$/kW.ano (Chamada Pública PEE CELESC Nº 001/2015, 2015). Sob a ótica do setor elétrico, os custos evitados representam as economias de energia decorrentes do adiamento de investimentos na expansão do sistema elétrico (CED) e/ou da redução de despesas operacionais (CEE). São considerados como custos (CED e CEE) para o atendimento da unidade consumidora, os incorridos em todo sistema elétrico à montante da unidade consumidora, inclusive aqueles onde a mesma se encontra ligada (Manual dos Programas de Eficiência Energética - MPEE, 2008).

Para o faturamento do banho quente, a determinação do custo unitário para energia baseou-se na definição da ANEEL, para a Celesc, da Tarifa Residencial Vigente para o Grupo B1 (residencial), no período compreendido entre 07/08/2015 até 06/08/2016 (Res. Nº 1927 de 04 de agosto de 2015). Foi adotado custo unitário para a energia de R\$ 0,44436/kWh, que corresponde ao valor da Tarifa de Energia de R\$ 0,18464/kWh adicionado ao valor da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD de R\$ 0,25972/kWh. Para o Grupo B1, TUSD = R\$ (0,0/kW + 0,25972/KWh).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os 12 meses do período analisado, para ambos os grupos e por unidade consumidora, foram levantados, em intervalos de 1 hora, os perfis de consumo de energia elétrica com o banho. Adicionalmente, foram obtidas as energias economizadas e as energias economizadas acumuladas, em intervalos de 1 hora, proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água. O consumo de energia elétrica da unidade consumidora representativa do Grupo E representa a energia real consumida com o banho, enquanto o consumo de energia elétrica da unidade consumidora representativa do Grupo SE representa a quantidade de energia adicional que não é suprida pelo sistema de aquecimento solar.

As Fig. 1 e 2 apresentam para o ano analisado e por unidade consumidora, a evolução horária da energia elétrica consumida com o banho.

Os resultados mostram aumentos significativos de consumo de energia elétrica com o banho nos meses mais frios do ano (julho, agosto e setembro). Para o Grupo E, o consumo anual de energia elétrica com o banho, por unidade consumidora, foi de 527,4 kWh e para o Grupo SE foi de 329,4 kWh.

Os resultados mostram, para ambos os grupos, baixos consumos de energia elétrica com banho no período compreendido entre 1 e 6 horas, tornando sem sentido neste período, comparações de consumo entre os dois grupos analisados, uma vez que estes valores não são estatisticamente significativos. Entretanto, a partir das 6 horas, observam-se três diferentes perfis de consumo de energia elétrica com o banho: matutino, vespertino e noturno. No período matutino, ambos os grupos apresentam perfis de consumo de energia com o banho muito semelhante. No período matutino, é maior a probabilidade do sistema de aquecimento solar fornecer uma menor quantidade de água quente, visto que ocorrem perdas térmicas durante o período noturno e o ganho solar é pequeno durante a manhã. Entretanto, no período vespertino (a partir das 12:00 horas) a agregação da energia solar ao banho proporciona ganhos significativos em economia de energia. No período noturno, observa-se a predominância de consumo de energia elétrica com o banho no horário de ponta. Tal fato pode ser justificado porque neste horário os banhos são mais frequentes (aproximadamente 27 % do total de banhos) e de maior duração (aproximadamente 5,5 minutos).

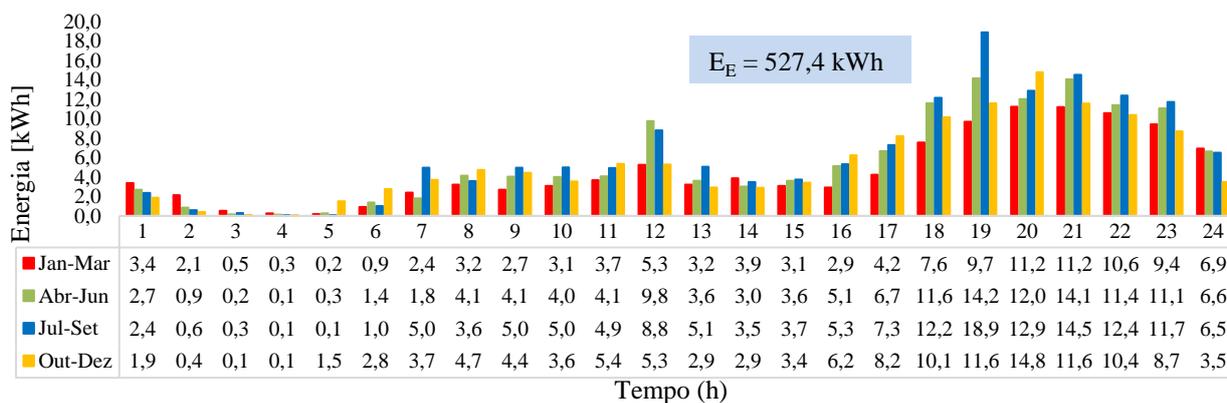


Figura 1- Evolução horária da energia elétrica consumida no banho - Grupo E.

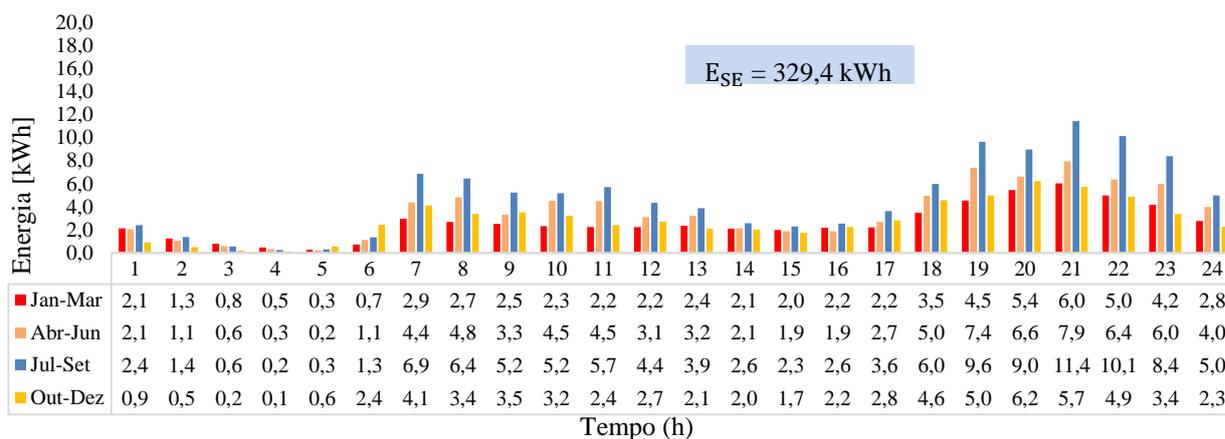


Figura 2 - Evolução horária da energia elétrica consumida no banho - Grupo SE.

Para o período analisado, a Fig. 3 apresenta, para ambos os grupos e por unidade consumidora, a evolução horária da energia elétrica economizada devido à agregação da energia solar ao banho.

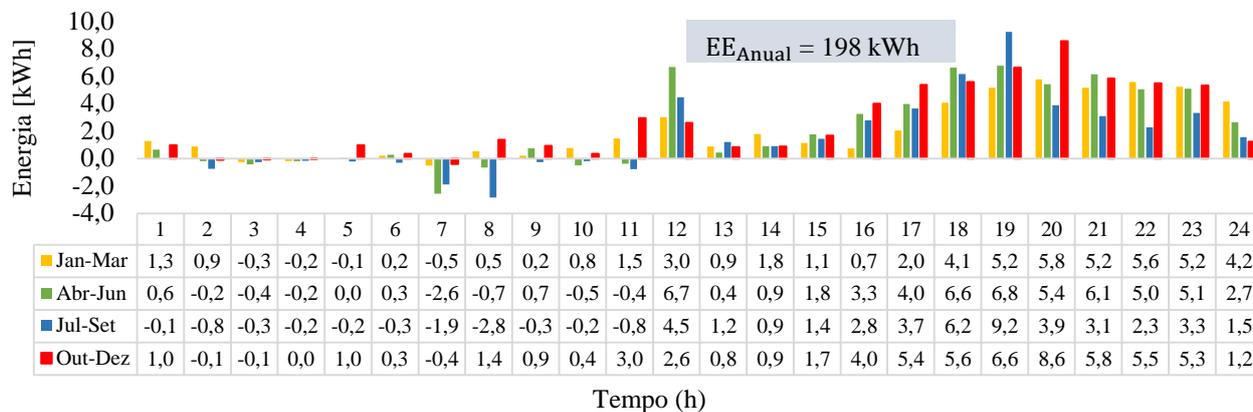


Figura 3- Evolução horária da energia elétrica economizada.

Os resultados mostram ganhos anuais em economia de energia elétrica insignificantes no intervalo de tempo compreendido entre 1 e 11:00 horas. 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 11 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 energia elétrica com o banho situa-se no período subsequente ao pôr do sol.

A Tab. 2 apresenta, para os 12 meses do período analisado e por unidade consumidora, os consumos de energia elétrica com o banho e a energia economizada proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água.

Tabela 2 - Energias consumidas e energias economizadas (EE)

Meses	SE (kWh)	E (kWh)	EE (kWh)
Janeiro	27,6	39,0	11,4
Fevereiro	17,5	31,8	14,3
Março	17,8	41,1	23,3
Abril	18,0	36,6	18,6
Mai	32,7	47,7	15,0
Junho	34,3	52,1	17,9
Julho	41,9	53,7	11,8
Agosto	39,4	48,5	9,1
Setembro	33,2	48,6	15,4
Outubro	30,5	46,8	16,3
Novembro	19,7	40,9	21,2
Dezembro	16,8	40,6	23,8
Anual	329,4	527,4	198,1

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao banho proporcionou economia anual de energia de 198 kWh (38%).

A Fig. 4 apresenta, no horário de ponta e por unidade consumidora, a evolução mensal dos valores máximos da potência ativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água e a potência ativa anual evitada proporcionada pela agregação da energia solar ao banho.

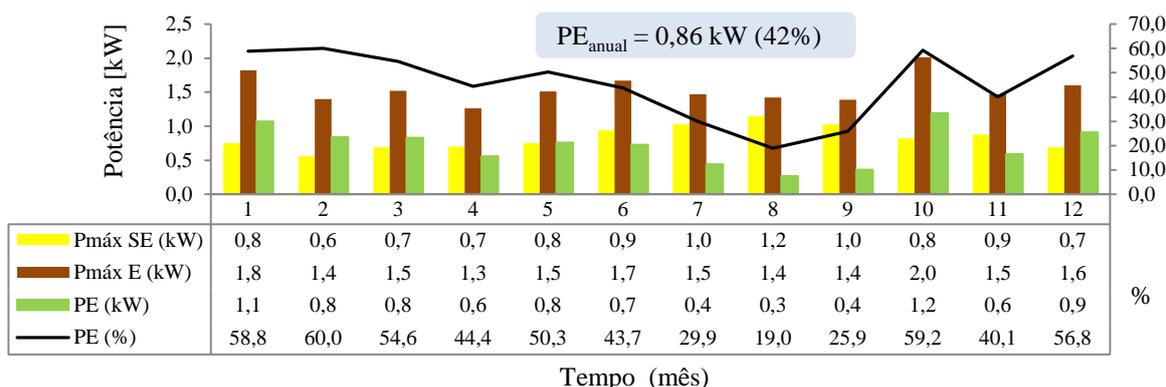


Figura 4- Evolução mensal dos valores máximos da potência ativa e potência ativa evitada no horário de ponta.

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao banho proporcionou, por unidade consumidora, menor valor para a potência ativa evitada no horário de ponta no mês de agosto (19%) e o maior valor para a potência ativa evitada no horário de ponta em fevereiro (60%). No ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao banho proporcionou por unidade consumidora no horário de ponta, potência ativa evitada de 0,86 kW (42%).

Os custos evitados pelo setor elétrico devido à energia anual economizada e à potência anual evitada, no horário de ponta, foram calculados admitindo-se, para o ano de 2015, os mesmos perfis de consumo de energia elétrica com o banho, observados em 2004.

Para o setor elétrico e por unidade consumidora, a Tab. 3 apresenta os custos e os valores faturados para os banhos quentes para o período compreendido entre 07/08/2015 e 06/08/2016.

Tabela 3 – Custos e valores faturados anuais para os banhos quentes por unidade consumidora

Grupo	Consumo kWh	Potência kW	Valores de custos				Valores faturados		
			Custos Específicos		Custos (R\$)		Tarifa	Total	
			R\$/kWh	R\$/kW	Energia	Potência	Total	R\$/kWh	R\$
E	527,40	2,06	0,44157	627,01	232,88	1.291,64	1.524,52	0,44436	234,36
SE	329,40	1,20			145,45	752,41	897,87		146,37

Os resultados mostram que para uma economia anual de energia elétrica de 198 kWh e potência ativa anual evitada no horário de ponta, de 0,86 kW, a agregação da energia solar ao banho proporciona por unidade consumidora, custo anual de potência evitada de R\$ 539,23 (42%), custo anual de energia economizada de R\$ 87,43 (38%) e custo anual total evitado de R\$ 626,65 (41%).

Para o setor elétrico e por unidade consumidora, a Tab. 4 apresenta o custo e o valor faturado do banho quente.

Tabela 4 – Custos e valores faturados para o banho quente

Grupo	Custos (R\$)			Valores faturados	
	CE	CD	Total	R\$/kWh	R\$
E	0,21	1,18	1,39	0,44436	0,21
SE	0,13	0,69	0,82		0,13

No período analisado, para o Grupo E cada banho custa em média aproximadamente R\$ 1,39 é faturado na conta de energia do cliente por R\$ 0,21. Para o Grupo SE custa R\$ 0,82 sendo faturado para o cliente por R\$ 0,13. Em ambos os casos a concessionária de energia elétrica cobra de seu cliente, por banho quente, aproximadamente 15% do valor total de seu custo.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou como objetivo desenvolver um método para avaliar, sob a ótica do setor elétrico, os impactos da agregação da energia solar térmica sobre o custo do banho quente, através de técnicas de medição da demanda e energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados. O método desenvolvido permite levantar perfis de consumo de energia elétrica com banho e avaliar os impactos proporcionados pelo aquecimento solar da água sobre a potência e o consumo de energia elétrica com o mesmo, e consequentemente sobre o custo do banho quente. O método aplicado ao Edifício Residencial Solar Buona Vita, localizado em Florianópolis, mostra que a agregação da energia solar ao banho proporciona ganhos significativos em economia de energia, em potência evitada no horário de ponta e no custo do banho quente. Este trabalho mostra claramente que existe, para o setor residencial, uma distorção no modelo de cobrança das contas de energia elétrica no Brasil. A distorção consiste em considerar apenas o custo da energia desprezando completamente o custo referente à disponibilidade de potência do setor elétrico. Os resultados mostram que a concessionária lança na fatura de cada unidade consumidora aproximadamente 15% do custo do banho quente.

Uma limitação do presente estudo é a resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica. A medida da demanda ativa, com resolução temporal de 5 minutos, ainda não é suficiente para avaliar a potência evitada no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho. No período analisado, observou-se duração média mínima do banho quente de 3,8 minutos em janeiro e duração média máxima para o mesmo de 6,1 minutos em julho. No mesmo período, a duração média do banho quente foi maior do que 1 minuto para a esmagadora maioria dos banhos quentes. Em função dos valores encontrados para a duração média do banho quente, recomenda-se que sejam feitas medidas da demanda com resolução temporal de 1 minuto, no intervalo de tempo especificado, para representar adequadamente as potências ativas solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho, no mesmo intervalo de tempo especificado, e assim melhor avaliar hábitos de banho e os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a redução da demanda no horário de ponta (PE).

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.

REFERÊNCIAS

- ABRAVA. Mercado de aquecimento solar no brasil. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br>>. Consulta em abril de 2015.
- Abreu, S.L.; Salazar, J.P.L.C.; Colle, S., 2204. 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, pp. 1832-1840.
- ANEEL. Resolução da ANEEL N° 1927 de 04 de agosto de 2015. Disponível em www.aneel.gov.br. Consulta em setembro de 2015.
- ANEEL. Manual dos Programas de Eficiência Energética, 2008. Disponível em: www.aneel.gov.br. Consulta em janeiro de 2015.
- Carlo, J.; Lamberts, R., 2008. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables solar electricity consumption. Energy and Buildings 40, pp. 2002-2008.
- Celesc Distribuição SA. Chamada Pública PEE CELESC N° 001/2015. Disponível em www.celesc.com.br. Consulta em setembro de 2015.
- Desenvolvimento e validação experimental de ferramenta digital para racionalização do uso de energia de chuveiros elétricos de consumidores de baixa renda por agregação da energia termossolar no estado de Santa Catarina. Relatório Final do projeto de P&D LABSOLAR da UFSC/Celesc, ciclo 2001-2002,2004.
- Eletrobras Procel, 2012. Energia solar para aquecimento da água no Brasil: Contribuições da Eletrobrás Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel, ISBN 978-85-87083-31-9.

- Eletrobras 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 agosto de 2015.
- ESTIF. European Solar Thermal Industry Federation. Solar Thermal Markets in Europe – Trends and Market Statistics 2014. Disponível em: <<http://www.estif.org>>. Consulta: setembro de 2015.
- Goldemberg, J., Coelho, S.T., Gol, O.L., 2004. How adequate policies can push renewable. *Energy Policy* 32, pp. 1141-1146.
- Kalogirou, S., 2013. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. United States of America: Academic Press.
- Kalogirou, S.A., 2004. Environmental benefits of domestic solar energy systems. *Energy Conversion and Management* 45, pp. 3075-3092.
- MCIDADES. Portaria nº 325 de 7 de julho de 2011. Brasília, Brasil. Disponível em www.cbic.gov.br. Acesso em junho de 2015.
- Naspolini, H.F., Rüther, R. (a), 2014. Avaliação do potencial de inserção de sistemas de aquecimento solar na moradia popular através da criação de um fundo de investimento em energia solar. *Proceedings of V Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Recife, pp. 1-10.
- Naspolini, H.F., Rüther, R. (b), 2014. Agregação da energia solar ao banho: Influência da resolução temporal da técnica de medição da demanda sobre sua redução no horário de ponta. *Proceedings of V Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Recife, pp. 1-10.
- Naspolini, H.F., Rüther, R., 2012. Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil. *Renewable Energy*, Vol. 48, pp. 92-99.
- Naspolini, H.F., Rüther, R., 2011. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands. *Solar Energy*, Vol. (85), pp. 2023-2032.
- Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Rüther, R., 2010. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. *Energy Conversion and Management*, Vol. 51 (12), 2835–2845.
- Oliveira, R.H.; Kassick, E.V. *Chuveiros elétricos com controle eletrônico de temperatura: Impactos no sistema elétrico*. Relatório INEP – Instituto de Eletrônica de Potência da UFSC, Florianópolis, Brasil, 2008.
- Pereira, E.B.; Martins, F.R., Abreu, S.L., Rüther, R., 2006. *Atlas brasileiro de energia solar*, INPE, São José dos Campos, Brazil, p. 31, ISBN 978-85-17-00030-06.
- Pereira, E.B., Silva, S.A.B., Abreu, S.L., Colle, S., 2008. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment, *Energy Policy* 36, pp. 2853-2864.
- Rosa, L.P., Lomardo, L.L.B., 2004. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. *Energy and Buildings* 36, pp. 89-95.
- Salazar, J.P.L.C.; Abreu, S.L.; Borges, T.P.F.; Colle, S.; Reguse, W., 2003. 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, pp. 1048-1057.
- Salazar, J.P.L.C.; Abreu, S.L.; Colle, S., 2005. 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, pp. 987-992.
- Sowmy, D.S.; Prado, R.T.A., 2008. Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. *Energy and Buildings* 40, pp. 2128-2008.
- Vine, E.; Diamond, R.; Szydlowski, R., 1987. Domestic hot water consumption in four low-income apartment. *Energy* 12, pp. 459-467.

IMPACTS OF SOLAR THERMAL ENERGY AGGREGATION ON THE COST OF A HOT SHOWER HOW MUCH DOES A REAL HOT SHOWER COST?

Abstract: *This work presents a method to evaluate, from the distribution utility's perspective, the impacts of adopting domestic solar water heating (DSWH) in Brazil, based on demand measurements carried out on two groups of residential households. The method allows for the determination of the impacts of using DSWH on the electricity consumption, on the power demanded from the distribution utility, and on the cost of heating water for showering purposes. For the 12 months period evaluated, the case-study carried out at the Edifício Residencial Solar Buona Vita, in Florianópolis-Brazil, shows that using DSWH results in savings of 198 kWh (38 %), and active power demand savings at peak times of 860 W (42 %) per individual unit. For the distribution utility and per individual unit, using DSWH leads to avoided costs of R\$ 87,43 (38 %), avoided costs due to peak time demand reduction of R\$ 539,23 (42 %), and annual avoided costs of R\$ 626,65 (41 %). This work clearly shows that in the residential section the tariff model and structure is strongly distorted, since it only accounts for the energy consumption per residential unit, and completely disregards the costs associated with power demand availability. Our results show that the distribution utility charges only some 15% of the real cost of a hot shower based on electric showerheads.*

Key Words: *Solar energy, cost of hot showers, energy and power demand*