

Análise Econômica da Introdução de *Pré-Aquecedores Solares* nas Habitações Brasileiras

Ronaldo Gonçalves Madureira

Doutorando do Departamento de Energia - FEM- UNICAMP

Gilberto De Martino Jannuzzi

Prof. Dr. do Planejamento Energético - FEM - UNICAMP

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar se a introdução de uma nova tecnologia no setor residencial, visando administrar a demanda de energia elétrica, constitui-se ou não um investimento rentável. Essa avaliação é feita sob o ponto de vista do setor elétrico (considerando o custo de expansão da geração) e também sob o ponto de vista do consumidor (confrontando a tarifa de energia elétrica praticada). O estudo se dá no âmbito de um projeto de cooperação técnico-científica entre Universidade (Unicamp) e setor elétrico (CPFL), além de contar com o apoio de vários fabricantes de tecnologias. A tecnologia analisada é o *Pré-Aquecedor Solar (PAS)*, desenvolvido pelo grupo de trabalho do convênio mencionado (ver anexo). Neste artigo a análise econômica do *PAS* é expandida para o cenário nacional e os resultados são apresentados.

1. INTRODUÇÃO

Políticas de conservação de energia, compreendendo trocas de tecnologias, envolvem consumidores, fabricantes de tecnologias, setor elétrico e sociedade. Para o consumidor a introdução de uma nova tecnologia pode resultar vantagens tais como redução da conta de luz e melhor qualidade no atendimento de um uso final. Já os fabricantes da tecnologia difundida podem ampliar sua produção. Esses benefícios refletem positivamente sobre a sociedade, gerando novos empregos, evitando grandes investimentos na expansão da geração e impactos econômicos e ambientais correlatos à ampliação do parque gerador.

Quanto ao setor elétrico, à primeira vista, pode parecer um grande paradoxo o fato do mesmo promover campanhas ou programas de conservação de energia elétrica, uma vez que é

ele quem produz e vende essa energia. Contudo, observando-se a curva de carga do setor¹ percebe-se que há uma má utilização da energia; seu consumo está concentrado no chamado horário de ponta, 18 às 21 horas. Essa concentração compromete todo o sistema de fornecimento de energia elétrica no atendimento a essa demanda máxima. Isto é, o setor elétrico tem que realizar grandes investimentos adicionais na expansão do sistema de fornecimento² para sustentar exclusivamente cargas nesse horário, ficando parcialmente ocioso nos demais períodos. Assim, a receita advinda normalmente não é suficiente para remunerar todo esse investimento.

<aqui FIG. 1>

Nesse ponto residem as principais justificativas para a atuação do setor elétrico em políticas de conservação de energia. Ou seja, conservar energia pode muitas vezes constituir-se oportunidade de negócio mais rentável para o setor elétrico do que a realização de investimentos na expansão do sistema de fornecimento (geração, transmissão e distribuição).

Portanto, em um planejamento energético integrado contemplando opções de expansão e de administração da demanda, a tomada de decisão da alocação de investimentos necessita de uma metodologia de análise econômica como ferramenta que permita comparar as diversas opções apresentadas. Assim, neste trabalho apresenta-se inicialmente a metodologia utilizada na avaliação econômica do Pré-Aquecedor Solar (PAS). Em seguida descrevem-se as considerações adotadas e os resultados obtidos. Finalmente, são apresentadas conclusões e recomendações para viabilizar novos passos na difusão da tecnologia.

2. METODOLOGIA PARA ANÁLISE ECONÔMICA INTEGRADA

¹Ver FIG. 1

Um programa de administração da demanda (DSM) constitui medidas ou políticas que alteram o consumo e a demanda de energia, apresentando certos custos para isso. Naturalmente os custos refletem diferentemente sobre os agentes e sujeitos dessas políticas. Assim, a compreensão dos efeitos de medidas de conservação requer que a avaliação econômica seja realizada segundo as perspectivas de cada ator envolvido, isto é: setor elétrico, consumidor e sociedade. A metodologia aqui apresentada tem esse objetivo.

Custo de conservar energia (CCE)

A energia conservada apresenta um custo relativo ao esforço empregado para obtê-la, aqui denominado de custo de conservar energia (CCE). Assim, o CCE fornece o custo despendido na conservação de uma unidade de energia, por exemplo: US\$/kWh.

Para efetuar o cálculo do CCE anualiza-se o custo³ incremental líquido decorrente da medida adotada e depois divide-se esse valor pela energia conservada durante o ano, conforme apresentado a seguir:

$$CCE = \frac{(\Delta I) \cdot r + \Delta CO + \Delta CM}{E_c} \quad (1)$$

onde:

ΔI investimento líquido na medida de conservação

r fator de recuperação de capital: anualiza os investimentos

ΔCO custos anuais líquidos de operação

ΔCM custos anuais líquidos de manutenção

E_c energia conservada anualmente

²Esses custos adicionais de expansão do fornecimento são mais conhecidos por custos marginais de fornecimento (CMF).

³O fato do custo ser colocado em base anual permite comparar tecnologias com vida útil diferentes.

No caso de programas de conservação de energia via troca de tecnologias consideram-se as diferenças de custos entre uma e outra opção a fim de determinar os custos líquidos, resultando na expressão (2):

$$CCE = \frac{(I_n - I_s).r + (CO_n - CO_s) + (CM_n - CM_s)}{E_c} \quad (2)$$

onde:

I_n investimento com a tecnologia nova (preço de aquisição e instalação)

I_s investimento com a tecnologia substituída

CO_n custo anual de operação com a tecnologia nova

CO_s custo anual de operação com a tecnologia substituída

CM_n custo anual de manutenção da tecnologia n

CM_s custo anual de manutenção da tecnologia substituída.

O investimento líquido (ΔI) compreende o valor presente do preço de compra, instalação e reposições durante o período contábil analisado.

O fator de recuperação de capital r anualiza os investimentos, o seu valor é função da taxa de desconto (i) e do período contábil ou vida útil (n), conforme expresso a seguir:

$$r = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

Ao se conservar energia, por exemplo evitando o consumo de 1 MWh, coloca-se essa energia como disponível para consumo. Em outras palavras, o MWh conservado representa

um excedente que, para ser obtido via expansão da geração, exigiria custos adicionais para o setor elétrico e para a sociedade em geral⁴.

Conseqüentemente, na perspectiva do setor elétrico o CCE deve ser confrontado com o custo marginal de fornecimento (CMF) para averiguar a atratividade do investimentos na política de conservação.

Os investimentos em conservação de energia, sob o ponto de vista do consumidor, são avaliados confrontando-se a tarifa de energia elétrica. Eventuais incentivos econômicos para que o consumidor adote medidas de conservação também devem ser consideradas.

Finalmente, na perspectiva da sociedade, ou do país, deve-se avaliar os custos e benefícios globais do programa de conservação de energia, independentemente da alocação dos recursos entre consumidor e empresa de energia⁵, confrontando-os com o custo da sociedade para fornecer essa energia. JANNUZZI (1991) destaca que do ponto de vista da sociedade pode-se incluir na avaliação, desde que quantificáveis, as externalidades a cerca da geração de energia, tais como custos e restrições sócio-ambientais⁶, restrições de empréstimos e na balança de pagamentos do país, etc.

Para o setor elétrico e para a sociedade, a diferença entre o custo de conservar energia (CCE) e o de fornecer (CMF) representa o ganho ou a economia unitária. Já para o consumidor residencial, é a diferença entre o CCE e a tarifa praticada que determina essa economia unitária.

Dessa forma, pode-se verificar a atratividade das opções através do retorno anual líquido do investimento (**RAL**), que para o setor elétrico, por exemplo, é dado pela equação:

$$\text{RAL} = E_c \cdot (\text{CMF} - \text{CCE}) \quad (4)$$

⁴Esses custos adicionais são determinados através do custo marginal de fornecimento (CMF).

⁵Conforme JANNUZZI, 1991.

onde:

Ec energia conservada anualmente

CMF custo marginal de fornecimento

CCE custo de conservar energia

RAL retorno anual líquido dos investimentos

Para calcular o tempo de retorno do investimento, *pay back*, basta dividir o investimento líquido pelo retorno anual líquido (RAL), como se segue:

$$pay\ back = \frac{\Delta I}{RAL} \quad (5)$$

Custo de evitar pico (CEP)

Conforme apresentado, conservar energia (kWh) implica custos, representados pelo CCE. De forma similar, evitar a ampliação da capacidade instalada na geração (kW), através de políticas de administração da demanda, também implica em custos, relativos aos esforços empregados, denominado de **custo de evitar pico (CEP)**.

Portanto, o CEP deve ser comparado ao custo de instalação das central elétrica⁷. Isso exige que a análise seja realizada para o período correspondente à vida útil contábil da central elétrica⁸. Seu cálculo compreende, então, o rateamento do valor presente líquido (VPL) de todos os investimentos e custos, durante o período contábil, pela capacidade instalada evitada.

$$CEP = \frac{VPL(\Delta I + \Delta CO + \Delta CM)}{P_{evit}} \quad (6)$$

⁶Ressalta-se que a incorporação de externalidades de caráter sócio-ambientais, decorrentes de empreendimentos energéticos, exigem que os impactos sejam valorados economicamente, sendo que até o momento o setor elétrico ainda não avançou o suficiente em tal abordagem.

⁷O custo médio de uma central hidrelétrica brasileira é de US\$ 2,500.00 por KW instalado (ELETROBRAS, 1992 e JANNUZZI, 1991).

onde:

ΔI investimentos ao longo do período contábil

ΔCO custos operacionais durante o período

ΔCM custos de manutenção durante o período

P_{evit} potência evitada na geração

O cálculo da potência evitada na geração (P_{evit}) deve considerar as ineficiências na transmissão até o ponto de uso e a disponibilidade de máquinas (turbinas) na central elétrica.

O cálculo do CEP é realizado para o setor elétrico e para a sociedade. Para os consumidores ele só faz sentido nos segmentos cuja tarifação é balizada pela demanda (horosazonal).

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A metodologia descrita foi utilizada na análise da atratividade do Pré-Aquecedor Solar frente ao sistema usual: chuveiro elétrico.

Como as expectativas dos atores envolvidos são diferentes, variam também os parâmetros para a análise econômica de cada caso. Assim, a taxa de desconto (i) adotada para o setor elétrico é de 12%⁹; já sob o ponto de vista do consumidor utilizou-se 35%, por ser um valor que se adequa à disponibilidade de capital dos consumidores residenciais e suas perspectivas de retorno do investimento (RECHE, 1992).

No caso dos aquecedores solares, assumir custos de manutenção nulos é perfeitamente válido para sistemas de pequeno porte (residenciais), desde que haja garantia de durabilidade das partes, com performance satisfatória da superfície absorvedora, conforme análise de ENNES(1985). Apesar de todos os sistemas solares testados terem se mostrado

⁸No caso de hidrelétricas o valor usual é 50 anos.

superestimados (fração solar =1) para fornecer água a 30°C, considerou-se que durante o ano ainda 20% de toda a energia necessária no aquecimento de água na residência seria de origem elétrica.

Na determinação da capacidade evitada na geração com a retirada de um chuveiro (potência de inverno média de 4500W) e a instalação do sistema de pré-aquecimento solar, que inclui um chuveiro de 1650W e um resistor de 350W no reservatório, adotou-se a situação menos favorável em que chuveiro e resistor funcionam simultaneamente (2000 W). Logo, considerou-se que são efetivamente substituídos 2500W (Ps). Para essa situação a potência evitada na geração é estimada em 0,222 KW (MADUREIRA, 1995).

A tabela a seguir apresenta os outros dados utilizados:

<inserir aqui TAB. 1>

Observa-se que os custos operacionais de cada tipo de aquecedor dependem do consumo e do custo energético para o ator em análise: tarifa no caso do consumidor e custo marginal de fornecimento específico uso final no caso do setor elétrico.

Do ponto de vista do **setor elétrico** o CCE deve considerar o nível percentual de subsídio oferecido ao setor residencial (S) e desconsiderar os investimentos de compra e instalação de chuveiros nas residências. Para o setor, utiliza-se a energia conservada desde a geração, conforme a equação (7), adaptada da equação (2):

$$CCE_{SE} = \frac{(In * S).r + (CO_n - CO_s)}{Ec} \quad (7)$$

onde:

In investimento na tecnologia nova

⁹Taxa de remuneração historicamente adotada pelo Banco Mundial para investimentos em infra-estrutura (notas

- S percentual de subsídio ao consumidor
- r fator de recuperação de capital (com $i=12\%$)
- COn custo operacional anual da tecnologia nova
- Cos custo operacional anual da tecnologia substituída
- Ec energia conservada anualmente (na geração)

Para o **consumidor** a energia conservada é a do ponto de uso e os investimentos na tecnologia substituída (I_s) são considerados, como se segue:

$$CCE_{\text{cons}} = \frac{[In*(1-S)].r + (COn - COs)}{Ec} \quad (8)$$

Para o país, isto é, a **sociedade** como um todo, os subsídios entre setor elétrico e consumidor não são diretamente percebidos, pois o que importa é o resultado global da medida de conservação de energia. Assim, tem-se:

$$CCE_{\text{soc}} = \frac{[In - I_s].r + (COn - COs)}{Ec} \quad (9)$$

Observa-se que a vida útil das tecnologias (aquecedores) influencia na avaliação econômica, uma vez que adotam-se períodos contábeis de 20 anos (vida útil do chuveiro) para o cálculo do CCE e 50 anos (vida útil contábil de hidrelétricas) para o cálculo do CEP¹⁰.

4. RESULTADOS

de aula: curso do Prof. Dr. Ricardo Maranhão) e aplicado no cálculo das tarifas.

¹⁰As considerações apresentadas foram incorporadas à planilha de cálculo desenvolvida em programa de micro-computador para a análise econômica na perspectiva dos atores envolvidos.

A partir das considerações e dados apresentados, realizaram-se os cálculos do CCE e do CEP segundo as perspectivas do setor elétrico, dos consumidores e da sociedade (país), conforme apresentado na TAB. 2:

<inserir aqui a TAB. 2>

A partir do CCE e da equação (4) pode-se determinar qual é o retorno anual líquido do investimento (RAL) para o setor elétrico:

dados:

$$E_c = 595 \quad [\text{kWh/ano}] \quad (\text{energia conservada anualmente})$$

$$\text{CMF} = 0,29 \quad [\text{US\$/kWh}] \quad (\text{custo marginal de fornecimento para chuveiros})$$

$$\text{CCE} = (-0,08) \quad [\text{US\$/kWh}]$$

$$\text{RAL} = 595 \times [0,29 - (-0,08)] = 221 (\text{US\$ / ano})$$

Isso significa que a cada ano o setor elétrico tem o retorno de US\$ 221.00 dos investimentos praticados. Logo, o tempo de retorno do investimento “pay back” será, de acordo com a equação (5):

$$\text{payback} = \frac{I_n}{\text{RAL}} = \frac{533}{221} \Rightarrow 2,4 \text{ anos}$$

Para o setor elétrico o sistema de pré-aquecimento solar constitui-se oportunidade de investimento mais atrativo que a expansão mesmo que forneça o sistema gratuitamente ao consumidor. Este último, no entanto, depende de subsídios do setor elétrico para que o investimento torne-se atrativo, veja o gráfico (FIG. 2):

<inserir FIG. 2 - Aqui>

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Valores negativos para custos representam benefícios. Assim o CCE negativo indica que já no primeiro ano começa-se a obter retorno do investimento realizado na conservação.

Percebe-se também no caso do CEP, que os benefícios (US\$ 995.00), decorrentes dos custos operacionais líquidos, superam o valor presente dos investimentos na medida de conservação (US\$ 592.00). Conseqüentemente o resultado mostra que cada kW evitado com a introdução de pré-aquecedores solares implica em benefícios da ordem de US\$1,815.00 para o setor elétrico e de US\$ 2,418.00 para a sociedade.

Com 2,4 anos o setor elétrico obtém o retorno do investimento, garantindo lucros líquidos a partir desse período.

Na FIG. 2, nota-se que para o setor elétrico o investimento apresenta CCE menor que o de fornecer a energia ($CMF_c=0,292$ e $CMF_{médio}=0,128$) e ainda com possibilidade de início de retorno do investimento logo no primeiro ano (CCE negativo), mesmo subsidiando 100% do pré-aquecedor solar. Observa-se também, que a partir de 60% de subsídio ao consumidor o investimento por parte do mesmo corresponde a custos (CCE) menores que a tarifa (0,072).

O ponto de interseção das curvas representa o nível de subsídio da ordem de 85% em que o CCE é praticamente o mesmo para consumidor e setor elétrico: US\$ (-0,10) e constitui-se investimento atrativo para ambas as partes. Nesse último caso, o setor elétrico investiria cerca de US\$ 453.00 e o consumidor US\$ 80.00, com retorno dos investimento em cerca de dois anos e um ano, respectivamente. Note-se que para essa situação setor elétrico, consumidores e sociedade teriam o mesmo custo para conservar energia.

Como próximos passos para viabilizar a difusão dos PAS, é fundamental criar um programa de administração da demanda que congregue esforços do setor elétrico, consumidores, fabricantes e sociedade de forma geral.

Existem muitas barreiras a serem vencidas¹¹, mas a atratividade econômica da oportunidade de investimento e dos benefícios motiva a superação das mesmas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELETOBRAS, Premissas para a Elaboração do Plano 2015, Brasília, 1992, p.23

ELETOBRAS, Boletim de Mercado e Carga Própria, 1994, p.31

ENNES, Sérgio W. *Potencial para utilização da energia solar no Estado de São Paulo*. Relatório à Agência para Aplicação de Energia, 1985.

JANNUZZI, Gilberto De Martino. *Conservação de Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 1991. 100p. (Tese de Livre Docência)

MADUREIRA, Ronaldo G., *Desenvolvimento e Avaliação Econômica da Tecnologia Solar para Conservação de Energia Elétrica em Aquecimento de Água no Setor Residencial*. Tese de Mestrado, AIPSE-FEM-UNICAMP, Campinas, 1995.

RECHE, Ana Lúcia. *Conservação de Energia em Iluminação no Setor Terciário*. Tese de Mestrado, Campinas, UNICAMP, 1992

ANEXO

1) Equipe de Trabalho:

a) Companhia Paulista de Força e Luz, Diretoria de Distribuição - CPFL/DME:

- George Andrew Oliva, Eng.
- Marcello de Moura Campos Filho, Eng.
- Wilson Antonio Cassanti, Anal. Sist.
- Jefferson de Souza Cunha, Eng.

b) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica UNICAMP/FEM:

- Thomaz Pentead de Freitas Borges, Ms.
- Gilberto Martins, Ms.
- Gilberto De Martino Jannuzzi, Prof. Dr.
- José Tomaz Vieira Pereira, Prof. Dr.
- Gilmar Monpean da Cruz, Prof. Dr.
- Ronaldo G. Madureira, Eng.
- Bjorn Frederick, Aluno

⁷¹¹ A esse respeito ver MADUREIRA (1995).

Tabelas

Tabela 1 Dados das tecnologias

	<i>vida útil: n (anos)</i>	<i>investimento (US\$)</i>	<i>consumo elétrico anual (kWh)</i>	<i>custo unitário da energia elétrica (US\$/kWh)</i>	<i>custo anualizado (US\$)</i>
		[1]		[2]	
chuveiro elétrico	20	121	632	0,220 {0,072}	139,00 {45,5}
PAS	20	533	126,4	0,152 {0,072}	19,21 {9,10}

fonte: MADUREIRA, 1995

[1] - Já inclusos preço de aquisição e custos de instalação

[2] - Considera o horário em que se realiza o consumo

Obs.: Os dados entre chaves {...} referem-se a análise do ponto de vista dos consumidores

**Tabela 2 Avaliação econômica da substituição de chuveiros por PAS:
CCE (US\$/kWh) e CEP (US\$/kW)**

	Setor elétrico	Consumidor	Sociedade
CCE	-0.08	+0.21	-0.11
CEP	-1,815.00	-	-2,418.00

fonte: elaboração própria

Obs.: os cálculos consideraram investimentos realizados pelo interessado (sem subsídios)

figuras

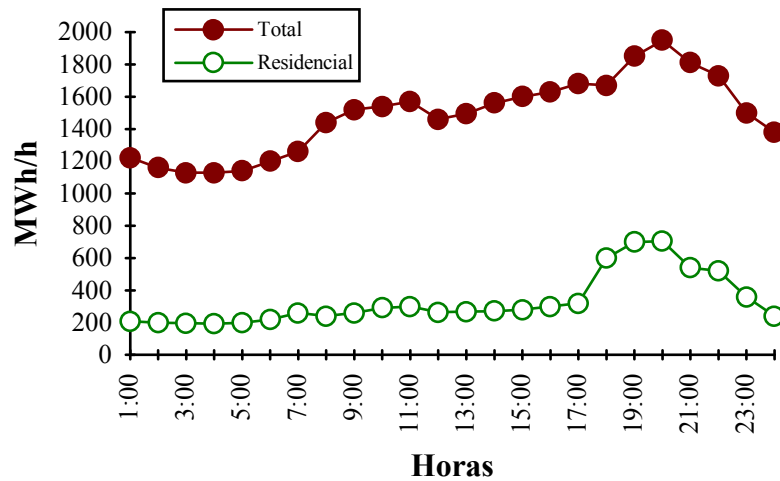


Figura 1. CPFL –Curva de carga horária – total e residencial, 1989

FONTE: ATMANN e JANNUZZI, 1989

Obs.: A curva é característica para o Brasil - mesmo perfil apresentado em ELETREBRAS (1994)

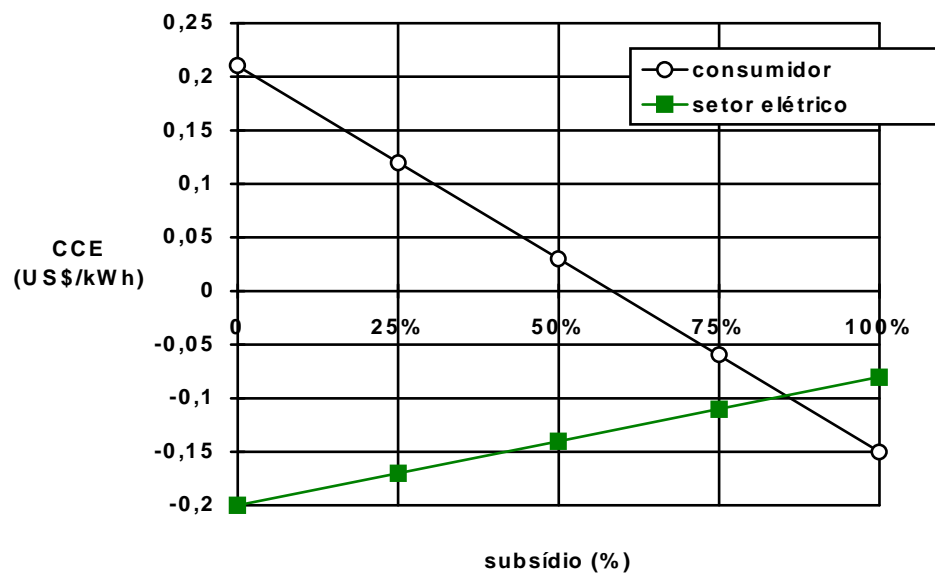


Figura 2 Custo de conservar energia (CCE) em função do subsídio ao consumidor

tarifa (consumidor residencial) 0,072

CMF a chuveis (setor elétrico): 0,292