



GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCE

OTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DA ENERGIA ECONOMIZADA E DA REDUÇÃO DE DEMANDA NA PONTA EM
PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO MANUAL PARA ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CICLO 2005/2006

Jorge Eduardo Vasconcelos Schorr *

Fábio Antonio Filipini

COPEL – Companhia Paranaense de Energia S.A.

GRAPHUS Energia Ltda.

RESUMO

Este trabalho foi elaborado visando contribuir para a otimização na forma de cálculo da Energia Economizada, EE, e a Redução de Demanda na Ponta, RDP, dos diferentes usos finais que são apresentados no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel ciclo 2005/2006. Este trabalho visa atingir valores de EE e RDP mais próximos dos valores encontrados em campo e que possam reduzir ao mínimo a margem de erro da medição & verificação sugeridas pelo *International Performance Measurement and Verification Protocol*, IPMVP (1), contribuindo ainda na apresentação dos dados e a forma de cálculo.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência Energética, Energia Economizada, Redução de Demanda na Ponta, Manual Aneel

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é baseado na monografia de final de curso do I Curso de Especialização em Eficiência Energética na Indústria, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR (2), o qual integrou o Programa de Eficiência Energética da Copel, ciclo 2002/2003, concluído em dezembro de 2005.

A contribuição está na forma de apresentação dos dados no projeto e na forma de cálculo da EE e da RDP nos diferentes usos finais, buscando o aperfeiçoamento dos meios de se atingir as metas propostas no projeto. Em alguns usos finais, não é possível atingir a meta proposta, pois a idade dos equipamentos, o carregamento, as perdas térmicas são fatores que influenciam de forma a não atingir as metas propostas, e esses fatores não são considerados no atual formato de cálculo. Considerando ainda os tipos de projetos que utilizam cálculo de EE e RDP apresentados no Manual (3) do Programa de Eficiência Energética, PEE, todos os usos finais (Iluminação, Ar Condicionado, Motores, Refrigeração e Aquecimento Solar) possuem a mesma forma de apresentar os dados e os procedimentos de cálculo são iguais.

Para cada forma de uso final serão apresentados alguns comentários e contribuições, tanto na apresentação dos dados como no equacionamento dos cálculos da EE e do RDP, e em alguns casos haverá implementação de outras fórmulas para deixar mais claro o entendimento do projeto e suas metas.

2 USO FINAL - ILUMINAÇÃO

A Tabela 1 mostra a forma atual de apresentação dos dados de cada substituição sugerida.

TABELA 1 - Forma de apresentação dos dados do uso final – Iluminação

Poderá ser encontrada no Manual (3) em uso final Iluminação (Pags. 42, 49, 56, 64, 72, 81 e 96)

Observando a Tabela 1 verificamos que não é possível identificar nos sistemas de iluminação, utilizando lâmpadas fluorescentes tubulares, a quantidade de reatores duplos e simples e se estes reatores possuem perdas equivalentes. Outra questão está relacionada com o tempo de utilização, sendo que pela tabela não podemos identificar qual é o parâmetro de tempo para cada troca sugerida.

Abaixo temos as Equações (1) e (2) onde são calculadas a EE e a RDP.

$$RDP = [(NL_1 \times PL_1 + NR_1 \times PR_1) - (NL_2 \times PL_2 + NR_2 \times PR_2)] \times FCP \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

$$EE = [(NL_1 \times PL_1 + NR_1 \times PR_1) - (NL_2 \times PL_2 + NR_2 \times PR_2)] \times t \times 10^{-6} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (2)$$

Onde:

NL₁ quantidade de lâmpadas do sistema existente

NR₂ quantidade de reatores do sistema proposto

NL₂ quantidade de lâmpadas do sistema proposto

PR₁ potência do reator do sistema existente

PL₁ potência da lâmpada do sistema existente (W)

PR₂ potência do reator do sistema proposto

PL₂ potência da lâmpada do sistema proposto (W)

t tempo de utilização das lâmpadas no ano, em horas

NR₁ quantidade de reatores do sistema existente

FCP fator de coincidência na ponta a ser definido pela concessionária

Podemos observar na Tabela 1 que não são apresentadas as perdas dos reatores utilizados nas Equações (1) e (2), o FCP utilizado na Equação (1) e o tempo de utilização utilizado na Equação (2).

Recomendações:

- Disponibilizar para cada substituição sugerida o tempo de utilização por ano em horas;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida o fator de coincidência na ponta, FCP;
- Para as substituições de lâmpadas que necessitam de reatores apresentar o número de reatores e suas perdas, tanto para o Sistema Atual quanto para o Proposto;
- Para as substituições envolvendo lâmpadas fluorescentes tubulares, apresentar o número de reatores duplos e simples e suas perdas, para o sistema Atual e Proposto;

A Tabela 2 apresenta a sugestão de apresentação dos dados para o uso final iluminação, destacando os pontos mencionados acima.

TABELA 2 – Forma proposta para apresentação de dados do uso final iluminação

| ILUMINAÇÃO | | | | Iluminação 1 | Iluminação 2 | Iluminação ... | Iluminação n | |
|---|------------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|-------|
| Premissas do cálculo do tempo de utilização | Horas/Dia (h/d) | | | | | | | |
| | Dias/Ano (d/ano) | | | | | | | |
| Tempo de Utilização (h/ano) | | t | | | | | | |
| Fator de Coincidência de Ponta | | FCP | | | | | | |
| SISTEMA ATUAL | | | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | | | |
| Lâmpada | Potência | (W) | PL ₁ | | | | | |
| | Quantidade | | | NL ₁ | | | | |
| Reator | Perdas | (W) | PR ₁ | | | | | |
| | Quantidade | | | NR ₁ | | | | |
| Potência Instalada | | (kW) | | | | | | |
| Energia Consumida | | (MWh/ano) | | | | | | |
| SISTEMA PROPOSTO | | | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | | | |
| Lâmpada | Potência | (W) | PL ₂ | | | | | |
| | Quantidade | | | NL ₂ | | | | |
| Reator | Perdas | (W) | PR ₂ | | | | | |
| | Quantidade | | | NR ₂ | | | | |
| Potência Instalada | | (kW) | | | | | | |
| Energia Consumida | | (MWh/ano) | | | | | | |
| RESULTADOS ESPERADOS | | | | | | | | TOTAL |
| Redução de potência | | (kW) | | RDP | | | | |
| Energia Conservada | | (MWh/ano) | | EE | | | | |
| Economia | | | | % | | | | |

3 USO FINAL - AR CONDICIONADO

O Manual apresenta o formato de substituição que está apresentado na Tabela 3 e na Equação (3), RDP, e Equação (4), EE.

TABELA 3 - Forma atual de apresentação dos dados do uso final ar condicionado
Poderá ser encontrada no Manual (3) em uso final Ar Condicionado (Pags. 43, 57, 65, 73, 82 e 97)

$$RDP = \left(C_1 \times N_1 \times \frac{1}{EF_1} - C_2 \times N_2 \times \frac{1}{EF_2} \right) \times FCP \times 1,055 \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

$$EE = \left(C_1 \times N_1 \times \frac{1}{EF_1} - C_2 \times N_2 \times \frac{1}{EF_2} \right) \times t \times 1,055 \times 10^{-6} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (4)$$

Onde:

- C₁** capacidade nominal do equipamento existente (BTU/h) **N₁** quantidade de equipamentos existentes
C₂ capacidade nominal do novo equipamento (BTU/h) **N₂** quantidade de equipamentos novos
EF₁ eficiência do equipamento existente **t** tempo de utilização no ano em horas (960 horas)
EF₂ eficiência do novo equipamento, definido pelo fabricante **FCP** fator de coincidência na ponta a ser definido pela concessionária

Neste uso final, na Tabela 3, o que chama a atenção são os valores de eficiência, tempo de utilização e FCP que não estão presentes na tabela. A situação interessante é apontada na definição dos parâmetros de eficiência das Equações (3) e (4), onde a eficiência dos equipamentos não possui unidade. A tabelas do Procel/Inmetro para Ar Condicionado tipo Janela traz este parâmetro com a seguinte unidade kJ/Wh, e para o tipo Split Hi-Wall a unidade WW, porém nas Equações (3) e (4) temos o número 1,055 que é o fator de conversão das unidades ((BTU → kWh) / (kJ → kWh)). Temos ainda, na definição do parâmetro tempo, o valor fixado em 960 horas.

Pela interpretação das informações acima, observamos que estas Equações, (3) e (4), aplicam-se somente para a substituição de aparelhos de ar condicionado do tipo janela, para outros tipos de aparelhos não podemos aplicá-las, e também que o tempo de utilização deve ser fixo em 960 horas.

Recomendações:

- Disponibilizar para cada substituição sugerida o tempo de utilização por ano em horas;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida o fator de coincidência na ponta, FCP;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida a eficiência do aparelho de ar condicionado, tanto para o sistema Atual quanto para o Proposto;
- A tabela 4 apresenta a sugestão de apresentação dos dados para o uso final – ar condicionado;
- Deve-se deixar claro que a formulação apresentada serve somente para a substituição de aparelhos condicionadores de ar do tipo janela por outro aparelho de mesmas características, pois há a necessidade, por parte da Agência Reguladora, de estudar outro equacionamento ou solicitar ao Procel/Inmetro que divulgue a eficiência energética dos equipamentos condicionadores de ar tipo Split Hi-Wall e outros equipamentos de condicionamento de ar em uma única unidade, no caso kJ/Wh.
- Retirar a fixação de 960 horas deixando para livre escolha o tempo de utilização.

TABELA 4 – Forma proposta para apresentação de dados do uso final ar condicionado

| AR CONDICIONADO | | Ar Condicionado 1 | Ar Condicionado 2 | Ar Condicionado ... | Ar Condicionado n | |
|---|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------|
| Premissas do cálculo do tempo de utilização | Horas/Dia (h/d) | | | | | |
| | Dias/Ano (d/ano) | | | | | |
| Tempo de Utilização (h/ano) | t | | | | | |
| Fator de Coincidência de Ponta | FCP | | | | | |
| SISTEMA ATUAL | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | |
| Eficiência | (kJ/Wh) EF ₁ | | | | | |
| Quantidade | N ₁ | | | | | |
| Capacidade | (BTU/h) C ₁ | | | | | |
| Energia Consumida | (MWh/ano) | | | | | |
| SISTEMA PROPOSTO | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | |
| Eficiência - catálogo | (kJ/Wh) EF ₂ | | | | | |
| Quantidade | N ₂ | | | | | |
| Capacidade | (BTU/h) C ₂ | | | | | |
| Energia Consumida | (MWh/ano) | | | | | |
| RESULTADOS ESPERADOS | | | | | | TOTAL |
| Redução de potência | (kW) RDP | | | | | |
| Energia Conservada | (MWh/ano) EE | | | | | |
| Economia | % | | | | | |

4 USO FINAL - MOTOR

A Tabela 5 apresenta o formato de apresentação de dados referentes à substituição de motores, e a Equação (5), RDP, e a Equação (6), EE.

TABELA 5 - Forma atual de apresentação dos dados do uso final motores

| SISTEMA ATUAL | Motor 1 | Motor 2 | Motor n | Total |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Tipo de equipamento / tecnologia | | | | |
| Quantidade | | | | |
| Potência / capacidade | | | | |
| Energia Consumida | | | | |
| SISTEMA PROPOSTO | | | | |
| Tipo de equipamento / tecnologia | | | | |
| Quantidade | | | | |
| Potência / capacidade | | | | |
| Energia Consumida | | | | |
| RESULTADOS ESPERADOS | | | | |
| Redução de Potência/ capacidade (kW) | | | | |
| Energia Conservada (MWh/ano) | | | | |
| Economia (%) | | | | |

Poderá ser encontrada no Manual (3) em uso final Motor (Pags. 43, 58, 66, 74, 82 e 98)

$$RDP = \left(P_1 \times N_1 \frac{1}{R_1} - P_2 \times N_2 \frac{1}{R_2} \right) \times FCP \times 0,736 \quad (\text{kW}) \quad (5)$$

$$EE = \left(P_1 \times N_1 \frac{1}{R_1} - P_2 \times N_2 \frac{1}{R_2} \right) \times t \times 0,736 \times 10^{-3} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (6)$$

Onde:

N₁ quantidade de motores existentes

R₁ rendimento do motor existente

N₂ quantidade de motores novos

R₂ rendimento do novo motor

P₁ potência nominal do motor existente (CV)

t tempo de utilização do motor no ano em horas

P₂ potência nominal do novo motor (CV)

FCP fator de coincidência na ponta a ser definido pela concessionária

Podemos observar que na Tabela 5 não são apresentados os rendimentos dos motores utilizados nas Equações (5) e (6), o FCP utilizado na Equação (5) e o tempo de utilização utilizado na Equação (6).

Com a utilização das Equações (5) e (6), no momento de realizar a medição e verificação dos valores resultantes destas equações poderemos deparar com erros superiores aos permitidos pelo *International Performance Measurement and Verification Protocol*, IPMVP (1), como poderemos observar pelo Gráfico 1.

Recomendações:

- Disponibilizar para cada substituição sugerida o tempo de utilização por ano em horas;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida o fator de coincidência na ponta, FCP;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida o rendimento do motor, tanto para o sistema Atual quanto para o Proposto;

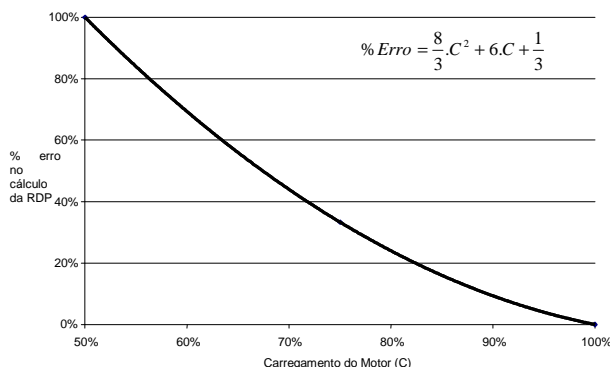


GRÁFICO 1 – Erro ocasionado pela não consideração do carregamento do motor analisado

A Tabela 6 apresenta a sugestão de apresentação dos dados para o uso final - Motores.

Modificar as Equações de cálculo de EE e RDP das atuais Equações (5) e (6) para as Equações (7) e (8). Esta alteração nas equações deixará os valores de EE e RDP mais próximos dos valores obtidos nas medições a serem realizadas antes e após a execução das substituições.

Disponibilizar para cada substituição sugerida o carregamento do motor, para o sistema Atual e Proposto.

TABELA 6 – Forma proposta para apresentação de dados do uso final motores

| MOTORES/EQUIPAMENTOS | | | Motor 1 | Motor 2 | Motor ... | Motor n | |
|---|------------------|----------------|---------|---------|-----------|---------|--------------|
| Premissas do cálculo do tempo de utilização | Horas/Dia (h/d) | | | | | | |
| | Dias/Ano (d/ano) | | | | | | |
| Tempo de Utilização (h/ano) | | t | | | | | |
| Fator de Coincidência de Ponta: | | FCP | | | | | |
| SISTEMA ATUAL | | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | | |
| Carregamento | (%) | C ₁ | | | | | |
| Eficiência | (%) | R ₁ | | | | | |
| Quantidade | | N ₁ | | | | | |
| Potência | (CV) | P ₁ | | | | | |
| Energia Consumida | | (MWh/ano) | | | | | |
| SISTEMA PROPOSTO | | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | | |
| Carregamento - catálogo | (%) | C ₂ | | | | | |
| Eficiência - catálogo | (%) | R ₂ | | | | | |
| Quantidade | | N ₂ | | | | | |
| Potência | (CV) | P ₂ | | | | | |
| Energia Consumida | | (MWh/ano) | | | | | |
| RESULTADOS ESPERADOS | | | | | | | TOTAL |
| Redução de potência | | (kW) | RDP | | | | |
| Energia Conservada | | (MWh/ano) | EE | | | | |
| Economia | | % | | | | | |

$$RDP = \left(C_1 \times P_1 \times N_1 \times \frac{1}{R_1} - C_2 \times P_2 \times N_2 \times \frac{1}{R_2} \right) \times FCP \times 0,736 \quad (\text{kW}) \quad (7)$$

$$EE = \left(C_1 \times P_1 \times N_1 \times \frac{1}{R_1} - C_2 \times P_2 \times N_2 \times \frac{1}{R_2} \right) \times t \times 0,736 \times 10^{-3} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (8)$$

Onde:

C₁ carregamento do motor existente

C₂ carregamento do novo motor

N₁ quantidade de motores existentes

N₂ quantidade de motores novos

P₁ potência nominal do motor existente (CV)

P₂ potência nominal do novo motor (CV)

R₁ rendimento do motor existente

R₂ rendimento do novo motor

t tempo de utilização do motor no ano em horas

FCP fator de coincidência na ponta a ser definido pela concessionária

5 USO FINAL - REFRIGERAÇÃO

O Manual apresenta o formato de substituição que está apresentado na Tabela 7 e na Equação (9), EE, e Equação (10), RDP.

TABELA 7 - Forma atual de apresentação dos dados do uso final refrigeração
Poderá ser encontrada no Manual (3) em uso final Refrigeração (Pags. 44, 59, 67, 75, 83 e 99)

$$EE = N \times (C_1 - C_2) \times 10^{-3} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (9)$$

$$RDP = \frac{EE \times FU \times 10^3}{t} \quad (\text{kW}) \quad (10)$$

Onde:

C₁ = consumo de energia dos equipamentos de refrigeração a serem substituídos. Na ausência desta informação, usar o valor médio de consumo dos equipamentos menos eficientes das categorias E, F, G, conforme tabela do site do Inmetro ou do Procel

C₂ = consumo de energia do equipamento eficiente

FU = fator de utilização médio (dado fornecido pelo fabricante ou conseguido através de pesquisa)

N = nº de equipamentos a serem substituídos

t = tempo de utilização do equipamento de refrigeração no ano em horas (8.760 h)

NOTA: Os consumos referidos devem ser obtidos através das tabelas "Tabelas de Consumo/Eficiência Energética" do PBE no site: www.inmetro.gov.br ou www.eletrabras.gov.br.

Na Tabela 5 podemos observar que não é apresentado o fator de utilização que é utilizado na Equação (10) e o tempo de utilização, que possui na definição de parâmetros o valor de 8.760 horas.

Recomendações:

- Disponibilizar para cada substituição sugerida o tempo de utilização por ano em horas;
- Disponibilizar para cada substituição sugerida o FU;
- A Tabela 8 apresenta a sugestão de apresentação dos dados para o uso final – Refrigeração;
- Modificar as equações de cálculo de EE da atual Equação (9) para a Equação (11). Esta alteração na equação faz com que as substituições sejam mais coerentes;
- O tempo de 8.760 horas para o tempo de utilização deve ser incorporado à equação ou retirar a fixação deixando o tempo livre.

TABELA 8 – Forma proposta para apresentação de dados do uso final refrigeração

| REFRIGERAÇÃO | | Sistema 1 | Sistema 2 | Sistema ... | Sistema n | |
|---|------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| Premissas do cálculo do tempo de utilização | Horas/Dia (h/d) | | | | | |
| | Dias/Ano (d/ano) | | | | | |
| Tempo de Utilização (h/ano) | t | | | | | |
| Fator de Utilização (Fab., pesq., médio): | FU | | | | | |
| SISTEMA ATUAL | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | |
| Quantidade | N ₁ | | | | | |
| Capacidade (kW) | C ₁ | | | | | |
| Energia Consumida (MWh/ano) | | | | | | |
| SISTEMA PROPOSTO | | | | | | TOTAL |
| Tipo de equipamento / Tecnologia | | | | | | |
| Quantidade | N ₂ | | | | | |
| Capacidade (kW) | C ₂ | | | | | |
| Energia Consumida (MWh/ano) | | | | | | |
| RESULTADOS ESPERADOS | | | | | | TOTAL |
| Redução de potência (kW) | RDP | | | | | |
| Energia Conservada (MWh/ano) | EE | | | | | |
| Economia (%) | % | | | | | |

$$EE = (N_1 \times C_1 - N_2 \times C_2) \times 10^{-3} \quad (\text{MWh/ano}) \quad (11)$$

Onde:

C₁ = consumo de energia do equipamento de refrigeração a ser substituído. Na ausência desta informação, usar o valor médio de consumo dos equipamentos menos eficientes das categorias E, F, G, conforme tabela do site do Inmetro ou do Procel

C₂ = consumo de energia do equipamento eficiente

N₁ = quantidade de equipamentos de refrigeração existentes a serem substituídos

N₂ = quantidade de equipamentos de refrigeração novos

6 USO FINAL - AQUECIMENTO SOLAR PARA SUBSTITUIÇÃO DO CHUVEIRO ELÉTRICO

A Tabela 9 apresenta o formato de apresentação de dados referentes às implantações de sistema de aquecimento solar para substituição de chuveiro elétrico proposto pelo manual e as Equações de RDP (12), EE (13) e da Área Coletora - AC (14).

TABELA 9 - Forma atual de apresentação dos dados do Aquecimento Solar para Substituição do Chuveiro Elétrico
Poderá ser encontrada no Manual (3) em uso final Aquec. Solar p/Subst. Chuveiro Elétrico (Pag. 89)

$$RDP = NR \times NC \times (PC - P_{AUX}) \times FD \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (12)$$

$$EE = FS \times PC \times NB \times \frac{T}{60} \times 365 \times 10^{-6} \times NR \quad (\text{MWh/ano}) \quad (13)$$

Cálculo da área de coletores por residência:

$$AC = \frac{EE}{12 \times 10^{-3} \times FC \times PAC \times NR} \quad (14)$$

Onde:

| | | | |
|------------------------|--|-----------|---------------------------------------|
| RDP | redução de demanda na ponta (kW) | EE | Energia Economizada (MWh/ano) |
| NR | número de residências atendidas | NB | número médio de banhos por residência |
| NC | número médio de chuveiros por residência | T | tempo de duração do banho (min) |
| PC | potência máxima típica dos chuveiros utilizados (W) | AC | Área Coletora (m ²) |
| FD | = fator de diversidade de demanda do chuveiro na ponta | | |
| FS | = fração solar (definido pela Concessionário-Permissionária) | | |
| P_{AUX} | = potência média do aquecimento auxiliar por residência (W), tabela II do item III.7 do Manual | | |
| PAC | = produção média mensal de energia por área coletora (kWh/m ² .mês) | | |
| FC | = fator de correção que considera as diferenças climáticas e perdas térmicas do sistema por região, de acordo com a tabela I do item III.7 do Manual | | |

As equações, como são apresentadas, servem somente para cálculo do sistema de aquecimento solar em para unidades consumidoras residenciais.

As contribuições a seguir tornam o método capaz de calcular sistemas de maior porte, para unidades consumidoras de pequeno ou médio porte, por exemplo, instituições filantrópicas, hospitais e/ou indústrias, que desejem substituir os chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água para banho.

Recomendações:

- A Tabela 10 apresenta a sugestão de apresentação dos dados para o uso final – Aquecimento Solar para Substituição de Chuveiros Elétricos;
- A substituição da equação de RDP, Equação (12) pela Equação (15) está sendo sugerida, pois como o número de reservatórios térmicos pode ser diferente do número de chuveiros a serem substituídos, há a possibilidade de se utilizar chuveiros de baixa potência no lugar dos reservatórios térmicos com apoio elétrico;
- A substituição da equação de EE, Equação (13) pela Equação (16) está sendo sugerida, pois como o número de reservatórios térmicos pode ser diferente do número de chuveiros a serem substituídos, há a possibilidade de se utilizar chuveiros de baixa potência. Os reservatórios térmicos passaram a ter selo Procel e ganharam índices de perda em função destes índices considerando estas perdas na energia economizada;
- Deve-se deixar claro que, quando da utilização de chuveiros de baixa potência, não deve ser utilizado o apoio elétrico do reservatório térmico;
- Substituição da equação de AC, Equação (14) pela Equação (17). Os coletores solares possuem certificação Procel e com esta certificação ganharam o índice de eficiência, devendo assim ser considerado no cálculo da área total de coleta solar;
- O cálculo do número de coletores solar estava implícito no manual, só para deixar transparente a forma de cálculo, é recomendada a Equação (18);
- Recomendam-se ainda as Equações (19) e (20), pois até então não se calculava o número mínimo de reservatórios térmicos.

TABELA 10 - Forma proposta para apresentação de dados do uso final – Aquec. Solar p/Subst. Chuveiro Elétrico

| Dados do Projeto | | | | Custos Evitados | | | | Legenda | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------|------|-----------------------|-------------------|-----------|------|---|--|--|--|
| Fração Solar | FS | | 0,6 | CEE | | 0,00 | | Parâmetro definido pela concessionária | | | |
| Num. méd. ban | NB | | | CED | | 0,00 | | Parâmetros retirados das Tabelas Procel | | | |
| Num. chv. | NC | | | | | | | Parâmetro definido no Manual do PEE | | | |
| Pot. máx. chv. | PC | W | | | | | | Par. calculados por def. do Manual do PEE | | | |
| Vaz. Típ. chv. | V | l/min | | | | | | | | | |
| Tem méd ban | T | min | | | | | | | | | |
| Nº Un Con atend | NR | | | | | | | | | | |
| Pot típ chv bx pot | P _{CBP} | W | | | | | | | | | |
| Fator diversidade | FD | | | | | | | | | | |
| Cidade Ref. | Curitiba | | | | | | | | | | |
| Fat Cor Tab II | FC | | 0,49 | | | | | | | | |
| Ener Econ | EE | MWh/ano | 0,00 | | | | | | | | |
| Ret. Dem. Pon. | RDP | kW | 0,00 | | | | | | | | |
| Dados do Coletor | | | | Dados do Reservatório | | | | | | | |
| Fab Col Sol | | | | Fab. Res. Térm | | | | | | | |
| Modelo | | | | Modelo | | | | | | | |
| Área ext. | A _{Ext} | m ² | | Vol Res term | VR | l | | | | | |
| Prd ms en | PME | kWh/mês | | Pot. Elét. Aux. | P _{AUX} | W | | | | | |
| Efic. Energ. | EF | % | | Prd Enr ms | PEM | kWh/mês/l | | | | | |
| Prd Enr. col | PAC | kWh/(m ² mês) | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Ár Col Unid | AC | m ² | 0,00 | Vol ag qte cons | V _{que} | l | 0,00 | | | | |
| Núm colet. | N _{Col} | | 0 | Nº min res elet | NR _{ELE} | | 0 | | | | |

$$RDP = NR \times (NC \times (PC - P_{CBP}) - NR_{ELE} \times P_{AUX}) \times FD \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (15)$$

$$EE = NR \times \left((NB \times (PC - P_{CBP}) - NR_{ELE} \times P_{AUX}) \times FS \times \frac{T}{60} \times 365 \times 10^{-6} - VR \times PEM \times NR_{ELE} \times 12 \times 10^{-3} \right) \text{ (MWh/ano)} \quad (16)$$

Cálculo da área de coletores e o número de coletores por unidade consumidora:

$$AC = \frac{EE}{FC \times PAC \times EF \times NR \times 12 \times 10^{-3}} \quad (\text{m}^2) \quad (17)$$

$$N_{Col} = \frac{AC}{A_{EXT}} \quad (18)$$

Cálculo do volume de água quente consumida e o número mínimo de reservatórios térmicos por unidade consumidora:

$$V_{que} = V \times T \times NB \quad (19)$$

$$NR_{ELE} = \frac{V_{que}}{VR} \quad (20)$$

Onde:

| | | | |
|-------------------------|---|------------|---|
| A_{EXT} | área externa do coletor solar selecionado (m ²) | PC | potência máxima típica dos chuveiros utilizados (W) |
| EE | energia economizada (MWh/ano) | RDP | redução de demanda na ponta (kW) |
| NR | número de unidades consumidoras atendidas | T | tempo de duração do banho (min) |
| NB | número médio de banhos por unidade consumidora | VR | volume do reservatório térmico selecionado (l) |
| AC | = área total de coletores solar por unidade consumidora (m ²) | | |
| EF | = eficiência do coletor solar selecionado, tabelado pelo Procel | | |
| FD | = fator de diversidade de demanda do chuveiro na ponta | | |
| FS | = fração solar (definido pela Concessionária/Permissionária) | | |
| FC | = fator de correção que considera as diferenças climáticas e perdas térmicas do sistema por região, de acordo com a tabela I do item III.7 do Manual | | |
| NC | = número médio de chuveiros por unidade consumidora | | |
| N_{Col} | = número mínimo de coletores solar por unidade consumidora | | |
| NR_{ELE} | = número mínimo de reservatórios térmicos com suporte elétrico por unidade consumidora | | |
| P_{CBP} | = potência máxima típica dos chuveiros de baixa potência a serem utilizados (W) | | |
| P_{AUX} | = potência média do aquecimento auxiliar por residência (W), tabela II do item III.7 do Manual | | |
| PAC | = produção média mensal de energia por área coletora do coletor selecionado (kWh/m ² .mês), tabelado pelo Procel | | |
| PEM | = perda específica do reservatório térmico selecionado (kWh/mês/l), tabelado pelo Procel | | |
| V | = vazão típica do chuveiro existente (l/min), tabelado pelo Inmetro. Na ausência desta informação, utilizar a vazão de 15,0 (l/min) para residências/sobrados e 20 (l/min) para apartamentos/indústrias (4) | | |
| V_{que} | = volume de água quente utilizada por unidade consumidora (l) | | |

7 FATOR COINCIDÊNCIA DE PONTA - FCP

Em todo o manual não é apresentada uma equação para a determinação deste fator, sendo normalmente definido pela Concessionária.

Na forma proposta de apresentação dos dados, nos diversos usos finais avaliados, foi recomendada uma célula para a aplicação deste fator. A Equação (21) propõe um modo do cálculo do fator.

$$FCP = \frac{TUP}{HH} \quad (21)$$

Onde:

| | |
|------------|---|
| TUP | = tempo de utilização do sistema/equipamento no horário de ponta, em horas ao longo do mês típico |
| HH | = horas típicas de ponta por mês (a ser definido pela concessionária) |

Em tempo, lembramos que é prudente sempre apresentar a memória de cálculo, horário de utilização da carga e demais informações para comprovar o FCP proposto.

8 MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

Os critérios de medição & verificação devem seguir as orientações do *International Performance Measurement and Verification Protocol*, IPMVP (1), conforme descrito no Manual (3) para Elaboração do Programa de Eficiência Energética elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel ciclo 2005/2006.

9 CONCLUSÃO

Com a evolução das tecnologias envolvidas nos projetos de eficiência energética torna-se necessário que os procedimentos visando atingir confiáveis benefícios de energia economizada e redução de demanda na ponta sejam otimizadas.

Este trabalho aperfeiçoa os cálculos dos valores de energia economizada e a redução de demanda na ponta, tornando-os mais próximos aos valores encontrados nos procedimentos de medição & verificação. A forma proposta de apresentação dos dados agiliza a compreensão dos procedimentos de cálculos realizados no projeto, de modo que a avaliação dos projetos seja em menor tempo.

A recomendação para o uso final Aquecimento Solar para Substituição do Chuveiro Elétrico foi aplicada a projetos de eficiência energética recebidos pela Copel no processo de chamada pública 001/2006. Com a aplicação da recomendação, foi observada uma redução média de 8 % nos valores de RDP, de 45 % nos valores de EE e para o número de coletores solar houve uma redução média de 45 %. Pela análise do RCB, os projetos que

apresentaram EE acima de 3 MWh/ano obtiveram redução no RCB e os projetos que apresentaram valores de EE abaixo de 2,5 MWh/ano tornaram-se inviáveis.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) *International Performance Measurement and Verification Protocol* – IPMVP, Volume I e II, março/2002, www.ipmvp.org.

(2) SCHORR, Jorge E. V. Projeto Modelo de Eficiência Energética para o Setor Industrial do ponto de vista da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, UTFPR, Curitiba / PR, maio/2006.

(3) ANEEL, Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética – ciclo 2005/2006. Brasília / DF, dezembro/2005.

(4) Distribuição de Consumo nas Residências, Acesso em 16/03/2006, disponível <http://www.deca.com.br/vitrine/agua/Economia.html>.

11 DADOS BIOGRÁFICOS

Jorge Eduardo Vasconcelos Schorr

Nascido em Penápolis, SP, em 12 de fevereiro de 1963.

Especialização (2006) em Eficiência Energética na Indústria – UTFPR, Curitiba, PR e Graduação (1987) em Engenharia Elétrica, Universidade de Bauru – UB, Bauru, SP.

Empresas: Copel Transmissão S.A. (1989-1999), Automat Engenharia de Automação Ltda. (1999-2004), Copel Distribuição S.A., desde 2004.

Cargo: Engenheiro de Distribuição Pleno

Fábio Antonio Filipini

Nascido em Capinzal, SC, em 04 de janeiro de 1967.

Mestrado (2002) em Energia e Ciências Térmicas, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR e Graduação (1988) em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, Cuiabá, MT.

Empresas: Berneck Aglomerados S.A. (1989-1991), Graphus – Engenharia e Conservação de Energia Ltda. Graphus Energia, desde 1991.

Cargo: Diretor Técnico da Graphus Energia