

Custo de compra da energia para uma empresa distribuidora em função da aplicação de programas de eficiência energética

F. M. Figueiredo – CEB-UnB, I. Camargo – UnB e M. A. Oliveira - UnB

E-mail: ferfig@pobox.com

Palavras-chave – Custo de compra de energia, Eficiência energética Gerenciamento pelo Lado da demanda.

Resumo – O artigo apresenta um estudo investigativo da influência dos efeitos dos programa de eficiência energética no preço da energia comprada por uma empresa distribuidora de energia elétrica. É praxe nos estudos que apresentam os resultados de programas de eficiência energética nas concessionárias considerarem benefícios que utilizam preços bastante elevados quando ocorrem reduções na ponta de carga. Estudos anteriores sobre o tema determinam um custo diferente para cada hora do dia, em função do fator de carga [1]. Este trabalho propõe nova abordagem que conclui pela adoção de apenas dois patamares para o preço de compra: ponta e fora da ponta. Para demonstrar a metodologia de cálculo o trabalho apresenta uma avaliação dos efeitos na fatura a ser paga à concessionária supridora, pela distribuidora, numa série de situações onde, em função da aplicação de programas de eficiência energética, a curva de carga da concessionária distribuidora sofre alteração:

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda as questões relativas às alterações causadas na fatura de uma distribuidora de energia elétrica junto à sua supridora, em função da implementação de medidas de eficiência energética.

Estudos convencionais de avaliação econômica de programas de eficiência energética utilizam como benefícios em termos de custo evitado, do ponto de vista da concessionária distribuidora, valores que variam de acordo com a hora do dia em que houve alteração na curva de carga, com a implementação da medida racionalizadora. Esses benefícios referem-se a reduções na fatura da distribuidora junto à supridora.

A Figura 1 apresenta uma curva de carga típica de uma empresa distribuidora. Na curva estão bem definidos cinco patamares. Para cada um deles estão listados na própria figura preços diferenciados (R\$/MWh). Ao longo do trabalho será discorrida a metodologia para determinação desses valores.

Este artigo questiona a utilização dessa forma de abordagem para o caso de uma distribuidora pura (que compra a totalidade da energia que vende) concluindo não ser a mais adequada quando o foco do problema é o reflexo na fatura de compra da concessionária. No artigo propõe-se outra metodologia apresentada por meio de exemplos ilustrativos.

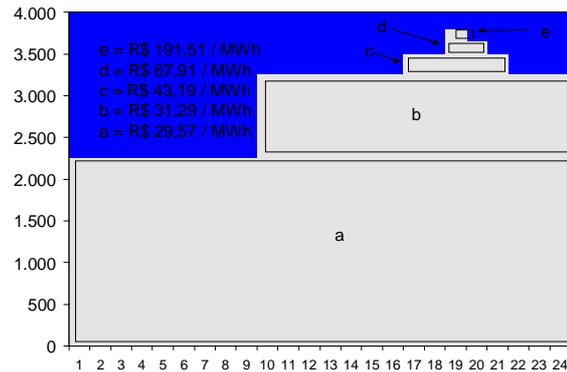


Figura 1 – Curva de carga típica

2. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO PREÇO POR HORA

Seja a curva diária de carga apresentada na Figura 2, cujos dados são os contidos na Tabela I

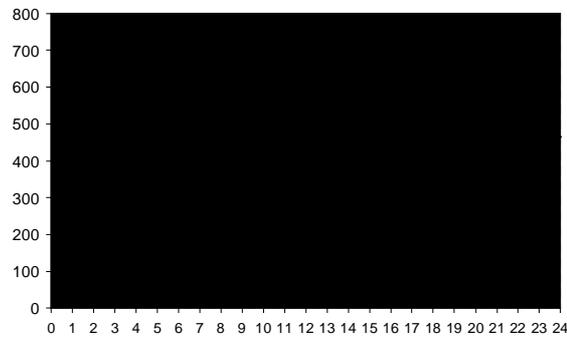


Figura 2 – Curva de carga típica

TABELA I

DADOS CORRESPONDENTES À CURVA DE CARGA DA FIGURA 2

hora	1	2	3	4	5	6	7	8
MW	304	315	313	305	306	307	328	371
hora	9	10	11	12	13	14	15	16
MW	400	450	520	545	550	552	560	571
hora	17	18	19	20	21	22	23	24
MW	569	580	625	682	631	619	565	465

O objetivo neste tópico é calcular os preços (R\$/MWh) em função da duração da carga, ou seja, um preço diferente para cada um dos 24 patamares da curva de carga.

Para auxiliar na determinação de quantos patamares de carga serão utilizados na análise, inicialmente obtém-se, a partir da curva diária de carga da Figura 2, sua correspondente curva de duração de carga, apresentada na Figura 3.

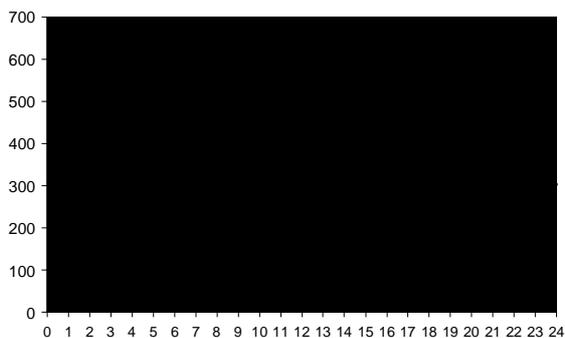


Figura 3 – Curva de duração de carga correspondente à curva de carga apresentada na figura 2

Da Figura 3 e ainda dos dados da Tabela I conclui-se que durante as 24 horas do dia a carga é no mínimo 304 MW, sendo apenas durante 1 hora por dia de 682 MW.

O próximo passo consiste em determinar os valores intermediários, ou seja, qual a carga mínima durante 23 horas por dia, 22 horas, 21 horas . . . 3 horas e 2 horas.

Para complementar os cálculos faz-se necessário estabelecer as tarifas de energia e demanda cobradas pela concessionária supridora à distribuidora. Os valores utilizados neste artigo são os contidos na Tabela II.

TABELA II

TARIFAS DE ENERGIA E DE DEMANDA UTILIZADAS NO TRABALHO

Tarifa de energia	30,34 R\$/MWh
Tarifa de demanda	2,34 R\$/kW

A Tabela III apresenta os preços (R\$/MWh) em função da duração da carga, ou seja, um preço diferente para cada um dos 24 patamares da curva de carga.

A descrição do conteúdo de cada coluna da Tabela III, bem como, sua forma de obtenção, encontra-se detalhado a seguir.

coluna 1 → representa a duração da carga em horas;

coluna 2 → carga em ordem crescente;

coluna 3 → variação da carga (diferença entre os valores da coluna 2 da linha em questão e da linha anterior);

coluna 4 → Energia mensal corresponde à variação na carga, assumindo-se comportamento similar durante os 30 dias do mês, ou seja, (coluna 3) * (coluna 1) * (30);

coluna 5 → Despesa mensal com demanda, ou seja (coluna 3) * Tarifa de demanda

coluna 6 → Despesa mensal com energia, ou seja (coluna 4) * Tarifa de energia

coluna 7 → Despesa mensal total, ou seja, (coluna 5) + (coluna 6); e,

coluna 8 → Custo da energia por hora, ou seja, (coluna 7) / (coluna 4).

TABELA III

PREÇOS DIFERENCIADOS PARA OS 24 PATAMARES DA CURVA DE CARGA

1	2	3	4	5	6	7	8
	MW	ΔMW	MWh	R\$ (demanda)	R\$ (Energia)	R\$ (Total)	R\$/MWh
24	304	304,0	218.880	711.360,00	6.640.819,20	7.352.179,20	33,59
23	305	1,0	690	2.340,00	20.934,60	23.274,60	33,73
22	306	1,0	660	2.340,00	20.024,40	22.364,40	33,89
21	307	1,0	630	2.340,00	19.114,20	21.454,20	34,05
20	313	6,0	3.600	14.040,00	109.224,00	123.264,00	34,24
19	315	2,0	1.140	4.680,00	34.587,60	39.267,60	34,45
18	328	13,0	7.020	30.420,00	212.986,80	243.406,80	34,67
17	371	43,0	21.930	100.620,00	665.356,20	765.976,20	34,93
16	400	29,0	13.920	67.860,00	422.332,80	490.192,80	35,22
15	450	50,0	22.500	117.000,00	682.650,00	799.650,00	35,54
14	465	15,0	6.300	35.100,00	191.142,00	226.242,00	35,91
13	520	55,0	21.450	128.700,00	650.793,00	779.493,00	36,34
12	545	25,0	9.000	58.500,00	273.060,00	331.560,00	36,84
11	550	5,0	1.650	11.700,00	50.061,00	61.761,00	37,43
10	552	2,0	600	4.680,00	18.204,00	22.884,00	38,14
9	560	8,0	2.160	18.720,00	65.534,40	84.254,40	39,01
8	565	5,0	1.200	11.700,00	36.408,00	48.108,00	40,09
7	569	4,0	840	9.360,00	25.485,60	34.845,60	41,48
6	571	2,0	360	4.680,00	10.922,40	15.602,40	43,34
5	580	9,0	1.350	21.060,00	40.959,00	62.019,00	45,94
4	619	39,0	4.680	91.260,00	141.991,20	233.251,20	49,84
3	625	6,0	540	14.040,00	16.383,60	30.423,60	56,34
2	631	6,0	360	14.040,00	10.922,40	24.962,40	69,34
1	682	51,0	1.530	119.340,00	46.420,20	165.760,20	108,34

A seguir demonstra-se que a aplicação desta metodologia, como foi concebida, torna os custos da energia por hora independente dos valores da curva de carga, dependendo apenas das tarifas de energia e demanda e da duração da carga (fator de carga). Ou seja, qualquer outra curva de carga que tenha 24 patamares diferentes apresentará os mesmos preços de energia (R\$/MWh) desde que se utilizem as mesmas tarifas de energia e de demanda.

Demonstração:

Calcula-se inicialmente a Energia mensal correspondente à variação de carga (E).

$$E = \Delta MW * H * 30 \quad (1)$$

onde

ΔMW é a variação na carga

H é o número de horas

30 é o número de dias do mês

Calcula-se em seguida a Despesa Mensal com Energia (DME)

$$DME = E * TE \quad (2)$$

onde

TE é a tarifa de energia

De forma similar a Despesa Mensal com Demanda (DMD) é obtida da seguinte forma:

$$DMD = \Delta MW * TD \quad (3)$$

onde

TD é a tarifa de demanda

A Despesa Mensal Total (DMT) é calculada a partir das parcelas correspondentes à energia e à demanda.

$$DMT = DME + DMD \quad (4)$$

O Custo da Energia por Hora (CEH) é então calculado:

$$CEH = \frac{DMT}{E} \quad (5)$$

Substituindo DMT na equação anterior tem-se:

$$CEH = \frac{DME + DMD}{E} \quad (6)$$

Substituindo-se então as expressões de DME e DMD, tem-se:

$$CEH = \frac{E * TE + \Delta MW * TD}{E} \quad (7)$$

Substituindo-se a expressão para a Energia (E) na equação anterior obtém-se:

$$CEH = \frac{\Delta MW * H * 30 * TE + \Delta MW * TD}{\Delta MW * H * 30} \quad (8)$$

Dividindo o numerador e o denominador por ΔMW , tem-se:

$$CEH = \frac{H * 30 * TE + TD}{H * 30} \quad (9)$$

Resumindo: o preço da energia horária (tarifa média) depende apenas das tarifas de energia e de demanda e do número de horas, conforme afirmado anteriormente.

Para comprovar tal constatação apresenta-se a seguir um exemplo. Imagine uma curva de duração de carga totalmente diferente do exemplo anterior, conforme a Figura 4.

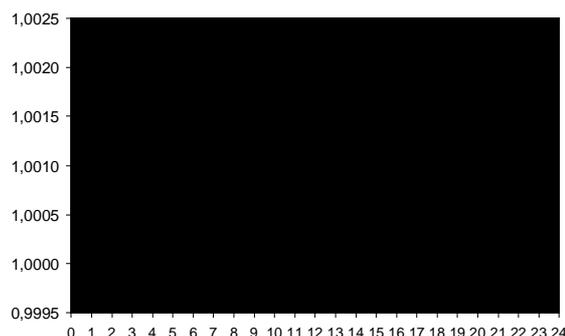


Figura 4 – Curva de duração de carga

Utilizando-se a Metodologia já descrita obtém-se como resultado os valores da Tabela IV.

TABELA IV
PREÇOS DIFERENCIADOS PARA OS 24 PATAMARES DA CURVA DE CARGA DA FIGURA 4

Horas	MW	ΔMW	MWh	R\$ (demanda)	R\$ (Energia)	R\$ (Total)	R\$/MWh
24	1,0000	1,0	720	2.340,00	21.844,80	24.184,80	33,59
23	1,0001	0,0001	0,069	0,23	2,09	2,33	33,73
22	1,0002	0,0001	0,066	0,23	2,00	2,24	33,89
21	1,0003	0,0001	0,063	0,23	1,91	2,15	34,05
20	1,0004	0,0001	0,060	0,23	1,82	2,05	34,24
19	1,0005	0,0001	0,057	0,23	1,73	1,96	34,45
18	1,0006	0,0001	0,054	0,23	1,64	1,87	34,67
17	1,0007	0,0001	0,051	0,23	1,55	1,78	34,93
16	1,0008	0,0001	0,048	0,23	1,46	1,69	35,22
15	1,0009	0,0001	0,045	0,23	1,37	1,60	35,54
14	1,0010	0,0001	0,042	0,23	1,27	1,51	35,91
13	1,0011	0,0001	0,039	0,23	1,18	1,42	36,34
12	1,0012	0,0001	0,036	0,23	1,09	1,33	36,84
11	1,0013	0,0001	0,033	0,23	1,00	1,24	37,43
10	1,0014	0,0001	0,030	0,23	0,91	1,14	38,14
9	1,0015	0,0001	0,027	0,23	0,82	1,05	39,01
8	1,0016	0,0001	0,024	0,23	0,73	0,96	40,09
7	1,0017	0,0001	0,021	0,23	0,64	0,87	41,48
6	1,0018	0,0001	0,018	0,23	0,55	0,78	43,34
5	1,0019	0,0001	0,015	0,23	0,46	0,69	45,94
4	1,0020	0,0001	0,012	0,23	0,36	0,60	49,84
3	1,0021	0,0001	0,009	0,23	0,27	0,51	56,34
2	1,0022	0,0001	0,006	0,23	0,18	0,42	69,34
1	1,0023	0,0	0,003	0,23	0,09	0,33	108,34

Assim, constata-se que os resultados obtidos foram os mesmos da Tabela III, situação onde a curva de carga era completamente diferente.

3. METODOLOGIA PROPOSTA PARA O CÁLCULO DO PREÇO DIFERENCIADO POR HORA

Para contestar a metodologia apresentada anteriormente e apresentar a metodologia proposta serão simulados casos

de aplicação de programas de eficiência energética e verificados seus reflexos nas faturas das distribuidoras junto às supridoras.

Considere a curva de carga da Figura 5, que será utilizada nas simulações a partir deste ponto do artigo.

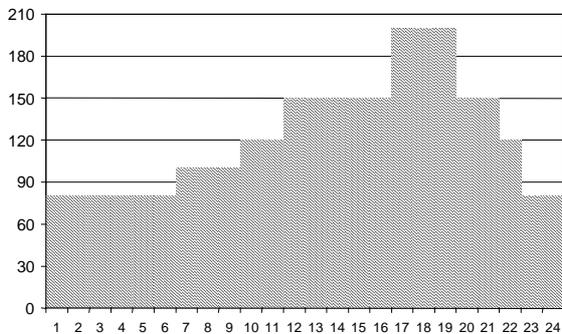


Figura 5 – Curva diária de carga utilizada nas simulações

Pela metodologia anterior existiriam 5 preços de energia, um para cada patamar diferenciado da curva de carga.

A tabela a seguir detalha os dados e os respectivos custos para cada um dos patamares.

TABELA V

PREÇOS DIFERENCIADOS REFERENTES À CURVA DE CARGA DA FIGURA 5

Horas	MW	Δ MW	MWh	R\$ (Demanda)	R\$ (Energia)	R\$ (Total)	R\$/MWh
24	80	80	57.600	187.200	1.747.584	1.934.784,00	33,59
16	100	20	9.600	46.800	291.264	338.064,00	35,22
13	120	20	7.800	46.800	236.652	283.452,00	36,34
10	150	30	9.000	70.200	273.060	343.260,00	38,14
3	200	50	4.500	117.000	136.530	253.530,00	56,34

Pode-se observar que os preços diferenciados (R\$/MWh) coincidem com os valores correspondentes nas Tabela III e IV referentes ao mesmo número de horas (24, 16, 13, 10 e 3).

Considerando-se os dados referentes à curva da Figura 5, admitindo-se as mesmas tarifas de energia e demanda e ainda um comportamento similar durante 30 dias por mês chega-se aos resultados apresentados na Tabela VI.

As linhas apresentadas na Tabela VI representam:

linha 1 → tarifa de energia;

linha 2 → energia mensal considerando a mesma curva de carga 30 dias por mês;

linha 3 → tarifa de demanda;

linha 4 → demanda máxima;

linha 5 → valor mensal na fatura referente à energia, ou seja (linha 1) * (linha 2);

linha 6 → valor mensal na fatura referente à demanda, ou seja (linha 3) * (linha 4);

linha 7 → valor total mensal na fatura, ou seja (linha 5) + (linha 6);

linha 8 → valor da tarifa média, ou seja (linha 7) / (linha 2).

TABELA VI

DADOS REFERENTES AO EXEMPLO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES

1	R\$/MWh	30,34
2	MWh	88.500
3	R\$/kW	2,34
4	kW	200.000
5	R\$ / mês (Energia)	2.685.090,00
6	R\$ / mês (Demanda)	468.000,00
7	R\$ / mês (Total)	3.153.090,00
8	R\$/MWh	35,628

São apresentados a seguir 4 casos de aplicação de programas de eficiência energética e verificadas as alterações nas faturas mensais para constatação de qual preço de energia deve ser utilizado.

Caso 1 – Transferindo 1 MW do horário de ponta sem redução na demanda máxima e na energia

A potência retirada durante uma hora, no período de ponta, foi compensada pela elevação de 1 MW no primeiro patamar de custo de energia (R\$33,59/MWh).

A Figura 6 ilustra este caso.

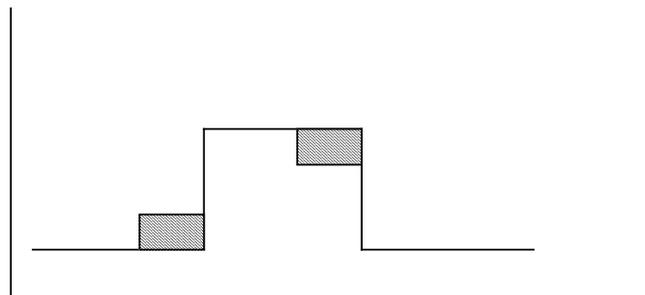


Figura 6 - Caso 1 – Transferindo 1 MW do horário de ponta sem redução na demanda máxima e na energia

Como a demanda ocorre durante 3 horas a redução de 1 MW durante apenas 1 hora não provocará redução na demanda máxima.

Os resultados referentes à simulação apresentada no caso 1 estão na Tabela VII.

Observa-se que não há alteração na fatura total da distribuidora mesmo tendo havido um deslocamento no consumo de um horário supostamente mais caro para um mais barato.

TABELA VII
RESULTADOS REFERENTES AO CASO 1

	Caso base	Caso 1
R\$/MWh	30,34	30,34
MWh	88.500	88.500
R\$/kW	2,34	2,34
MW	200	200
R\$ / mês (Energia)	2.685.090,00	2.685.090,00
R\$ / mês (Demanda)	468.000,00	468.000,00
R\$ / mês (Total)	3.153.090,00	3.153.090,00
R\$/MWh-médio	35,628	35,628
Var R\$/MWh	-	0,00000
Redução fatura	-	0,00
Redução energia	-	0,00
R\$/MWh-parcela reduzida	-	-

Ressalta-se ainda que os resultados serão os mesmos da Tabela VII se a elevação (compensação para não haver redução no consumo) de 1 MW ocorrer nos horários correspondentes aos patamares 2 (R\$ 35,22 / MWh), 3 (R\$ 36,34 / MWh) e 4 (R\$ 38,14 / MWh).

Caso 2 - Transferindo 1 MW do horário de ponta com redução na demanda máxima e sem redução na energia

Neste caso a potência de 1 MW precisa ser retirada durante as três horas de ponta de carga para que haja redução na demanda. A compensação para evitar redução na energia será pela elevação de 1 MW durante 3 horas no primeiro patamar de custo de energia pela calculado pela metodologia antiga (R\$33,59/MWh).

A Figura 7 apresenta um desenho ilustrativo desta simulação.

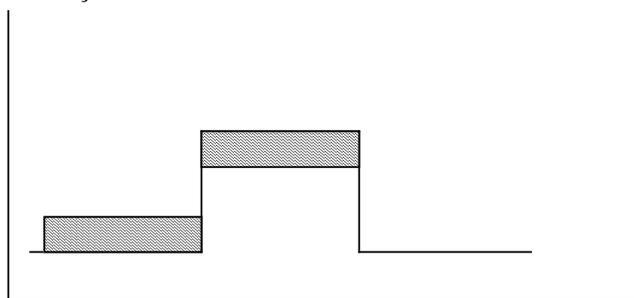


Figura 7 - Caso 2 - Transferindo 1 MW do horário de ponta com redução na demanda máxima e sem redução na energia

Os resultados referentes à simulação do caso 2 estão resumidos na Tabela VIII.

Neste caso há uma redução na fatura total referente à redução na demanda.

Como não há redução na energia não ocorre redução na parcela correspondente à energia, independente do tamanho do bloco deslocado.

TABELA VIII
RESULTADOS REFERENTES AO CASO 2

	Caso base	Caso 2
R\$/MWh	30,34	30,34
MWh	88.500	88.500
R\$/kW	2,34	2,34
MW	200	199
R\$ / mês (Energia)	2.685.090,00	2.685.090,00
R\$ / mês (Demanda)	468.000,00	465.660,00
R\$ / mês (Total)	3.153.090,00	3.150.750,00
R\$/MWh-médio	35,628	35,602
Var R\$/MWh	-	0,026
Redução fatura	-	2.340,00
Redução energia	-	0,00
R\$/MWh-parcela reduzida	-	-

Da análise da Tabela VIII pode-se concluir que não há uma “troca” entre energias compradas a 56,34 R\$/MWh e a 33,59 R\$/MWh (Tabela V) como era de se esperar pela metodologia tradicional.

Da mesma forma que no caso 1 o resultado será o mesmo se a elevação de 1 MW para compensar a redução ocorrer nos horários correspondentes aos outros patamares.

Caso 3 - Reduzindo 1 MW no horário de ponta sem redução na demanda máxima e com redução na energia

Da mesma forma que no caso 1 a retirada de 1 MW durante apenas 1 hora não reduz a demanda máxima, porém, neste caso provoca uma redução na energia.

A Figura 8 ilustra este caso.

Os resultados referentes à simulação do caso 3 estão resumidos na Tabela IX.

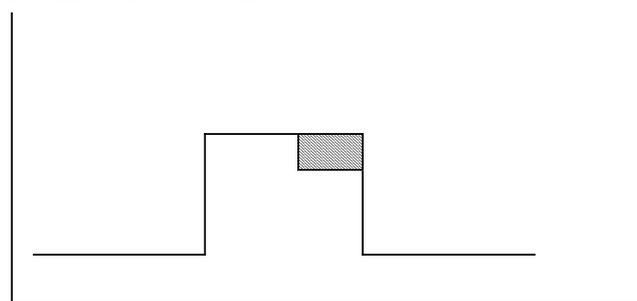


Figura 8 - Caso 3 – Reduzindo 1 MW no horário de ponta sem redução na demanda máxima e com redução na energia

Neste caso há uma redução na fatura total referente à redução na energia.

A relação entre a redução na fatura (R\$) e a redução na energia (MWh) apresenta como resultado 30,34 R\$/MWh.

Constata-se que a redução foi a um preço igual à tarifa de energia como era de se esperar, ao invés de ser a 56,34 R\$/MWh (Tabela V), que seria o preço referente ao

patamar superior da curva de carga na metodologia tradicional.

TABELA IX
RESULTADOS REFERENTES AO CASO 3

	Caso base	Caso 3
R\$/MWh-Furnas	30,34	30,34
MWh	88.500	88.470
R\$/kW-Furnas	2,34	2,34
MW	200	200
R\$ (Energia)	2.685.090,00	2.684.179,80
R\$ (Demanda)	468.000,00	468.000,00
R\$ Total	3.153.090,00	3.152.179,80
R\$/MWh-médio	35,628	35,630
Var R\$/MWh	-	-0,00179
Redução fatura	-	910,20
Redução energia	-	30,00
R\$/MWh-parcela reduzida	-	30,34

Caso 4 - Reduzindo 1 MW no horário de ponta com redução na demanda máxima e com redução na energia

A retirada de 1 MW ocorre durante as 3 horas da ponta e não é repostada.

A Figura 9 ilustra esta simulação.

Os resultados referentes à esta simulação estão resumidos na Tabela X.

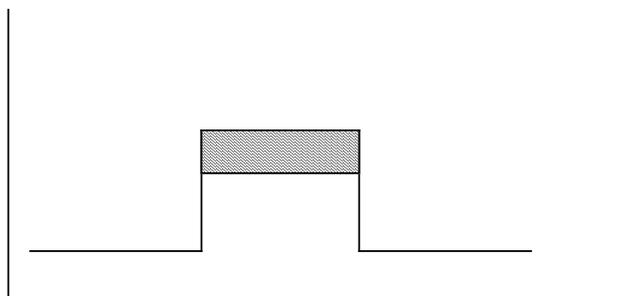


Figura 9 - Caso 4 - Reduzindo 1 MW no horário de ponta com redução na demanda máxima e com redução na energia

A relação entre a redução na fatura (R\$) e a redução na energia (MWh) apresenta como resultado 56,34 R\$/MWh. Somente neste caso ocorre uma redução ao preço correspondente ao patamar superior da curva de carga (56,34 R\$/MWh).

TABELA X
RESULTADOS REFERENTES AO CASO 4

	Caso base	Caso 4
R\$/MWh-Furnas	30,34	30,34
MWh	88.500	88.410
R\$/kW-Furnas	2,34	2,34
MW	200	199
R\$ (Energia)	2.685.090,00	2.682.359,40
R\$ (Demanda)	468.000,00	465.660,00
R\$ Total	3.153.090,00	3.148.019,40
R\$/MWh-médio	35,628	35,607
Var R\$/MWh	-	0,02108
Redução fatura	-	5.070,60
Redução energia	-	90,00
R\$/MWh-parcela reduzida	-	56,34

4. CONCLUSÕES

Com base nas simulações realizadas, quanto aos efeitos da implementação de programas de eficiência energética nas faturas de compra de energia das distribuidoras junto às supridoradoras, no que se refere ao preço de compra dessa energia, pode-se concluir:

Quando o programa de eficiência provoca apenas deslocamento de energia do horário de ponta de carga sem que haja redução na energia total consumida nem na demanda máxima (Caso 1) não há alteração na fatura mensal da concessionária distribuidora e, portanto não há deslocamento de uma energia “mais cara” para uma “mais barata” como alguns estudos apresentavam.

No caso de transferência de um bloco de energia do horário de ponta de carga (Caso 2) com redução apenas na demanda máxima há uma redução na fatura correspondente à demanda reduzida. Pode-se então concluir que não há uma “troca” entre energias compradas a 56,34 R\$/MWh e a 33,59 R\$/MWh (Tabela V) como era de se esperar pela metodologia tradicional.

Quando ocorre redução apenas na energia (Caso 3) independente da hora em que acontece, o preço dessa energia é R\$30,34/MWh e, portanto, a fatura é reduzida nessa proporção e não com preços diferenciados em função da hora.

Quando ocorre também redução na demanda (Caso 4) o preço é R\$ 56,34 / MWh. Somente neste caso ocorre uma redução ao preço correspondente ao patamar superior da curva de carga.

Portanto, existem apenas 2 preços para a energia: quando ocorre redução apenas na energia igual à tarifa de compra e quando ocorre também redução na demanda igual ao preço do patamar superior da curva de carga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PROCEL, Projeto 3 Substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, Rio de Janeiro, ELETROBRÁS, 1997.