

Gerenciamento de recursos energéticos através de ações do lado da demanda: O caso de centros urbanos da região Amazônica

Máximo Luiz Pompermayer¹
Gilberto de Martino Jannuzzi²

Resumo

Seguindo a lógica do gerenciamento de recursos energéticos pelo lado da demanda, este artigo apresenta resultados de uma investigação sobre possibilidades e impactos de ações de melhorias na eficiência energética do uso final de eletricidade. O estudo teve origem num levantamento de campo sobre posse de eletrodomésticos e hábitos de uso em três centros urbanos da Região Amazônica – Manaus, Porto Velho e Macapá –, que têm apresentado sérios problemas de suprimento de energia elétrica. À luz de experiências internacionais, desenvolveu-se uma metodologia de reconstituição de demanda e elaborou-se a estrutura de uso final, tanto em termos de consumo de energia quanto de carga requerida. Comparou-se, então, o desempenho dos aparelhos em uso com o de aparelhos equivalentes, energeticamente eficientes e comercialmente disponíveis. Os resultados revelam que seria possível e altamente rentável, tanto para o consumidor quanto para o setor elétrico, reduzir gradualmente o consumo de energia e a demanda máxima do sistema, através da aquisição gradual de tecnologias mais eficientes.

1 - Introdução

O primeiro choque do petróleo – março de 1973 – marcou o início de uma nova era da economia mundial. O modelo tradicional de planejamento energético foi colocado em xeque e o desacoplamento entre consumo de energia e crescimento econômico passou a ser tema de numerosos estudos. Neste contexto, o Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) passou a ser um instrumento importante de planejamento, para muitas companhias de eletricidade. Aliado a políticas de proteção ao meio ambiente, o GLD tem sido um instrumento eficaz contra o uso ineficiente e irracional de energia.

No Brasil particularmente, as principais ações de GLD tiveram início em meados dos anos oitenta, com a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel/Eletróbrás). A partir de então, passou-se a estabelecer metas de racionalização do uso de energia elétrica e os ganhos potenciais de eficiência passaram a ser incorporados nas projeções oficiais de demanda da Eletróbrás. Apesar do êxito e da importância de muitas dessas ações, existe ainda um grande potencial de melhorias na eficiência energética do uso final de eletricidade, como indicam diversos estudos, inclusive estimativas do Procel/Eletróbrás.

Neste trabalho, apresenta-se os principais resultados de uma investigação de possibilidades e impactos de ações de melhorias na eficiência energética do uso doméstico de eletricidade, conduzida em três centros urbanos da Região Amazônica (Manaus, Porto Velho e Macapá), no âmbito de uma tese de doutorado em planejamento energético (POMPERMAYER, 2000). O trabalho teve origem num levantamento de campo, realizado em 1996, mediante convênio entre o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica – Procel, a Universidade Estadual de Campinas – Unicamp e a Universidade do Amazonas, sob os auspícios do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (JANNUZZI et al., 1996).

Mediante a aplicação de um questionário padronizado a uma amostra estratificada de consumidores, levantou-se a posse e tipologia de eletrodomésticos, os hábitos de uso e manutenção dos aparelhos, as principais características físicas do domicílio e o perfil sócio-econômico dos usuários. Foram também levantadas informações técnico-econômica, junto a fabricantes e distribuidores de equipamentos, laboratórios especializados e demais instituições credenciadas (universidades e centros/institutos de pesquisa), visando à formação de um banco de dados sobre os diversos fatores que condicionam a demanda residencial de energia elétrica.

À luz de experiências internacionais, desenvolveu-se uma metodologia de reconstituição análise e previsão de demanda, visando a diagnosticar a demanda e simular os ganhos potenciais de eficiência energética, decorrentes de uma difusão gradual de tecnologias mais eficientes. Após elaboração e análise da estrutura de uso final, comparou-se o desempenho energético dos aparelhos em uso com o de aparelhos equivalentes, energeticamente eficientes e comercialmente disponíveis, segundo os referidos levantamentos – pesquisas de campo e de mercado.

Os resultados revelam que seria possível e altamente rentável, tanto para o consumidor quanto para o setor elétrico/concessionária de eletricidade, reduzir gradualmente o consumo de energia e a demanda máxima do sistema, através da aquisição gradual de tecnologias eficientes. Considerando apenas os aparelhos cuja substituição proporcione ao consumidor um retorno maior ou igual a 20% ao ano, seria possível, em cinco anos, reduzir 13,6% o consumo e 15,4% a demanda máxima residencial. Os impactos aumentam ao longo do tempo, à medida que o parque de aparelhos se renova. Após reposição de todo o parque existente na época do levantamento (1996), o que foi previsto para 2011, no caso dos principais equipamentos, estima-se que as economias, tanto de energia quanto de potência, alcançariam 22%.

2 - Levantamento dos dados

Para o levantamento de dados junto aos consumidores, foram aplicados questionários a uma amostra de consumidores. De modo a capturar os diferentes comportamentos de uma variável entre classes de consumidores, a amostragem foi feita de forma estratificada, tomando-se como referência o estrato mensal de consumo de eletricidade do domicílio (quilowatts-hora por mês – kWh/mês). Convenientemente, foram definidos os seguintes estratos: até 100 kWh/mês, mais de 100 a 200 kWh/mês, mais de 200 a 500 kWh/mês, mais de 500 a 1.000 kWh/mês e mais de 1.000 kWh, os quais foram denominados F1, F2, F3, F4 e F5, respectivamente. Esses dados foram fornecidos pelo cadastro de consumidores das concessionárias locais de eletricidade (Eletronorte/Manaus, Ceron/Porto Velho e CEA/Macapá).

Devido às diferenças no tamanho de cada estrato, isto é, o número de consumidores em cada faixa de consumo, escolheu-se a *técnica de amostragem casual estratificada proporcional* (COCHRAN, 1965), na qual o número de elementos sorteados (consumidores) num estrato é proporcional ao total de elementos desse estrato. O tamanho da amostra em cada uma das três cidades investigadas ficou assim definido: 463 consumidores em Manaus, 159 em Porto Velho e 150 em Macapá.

Informações adicionais foram levantadas junto a fabricantes e distribuidores de equipamentos, laboratórios especializados, centros de pesquisa e demais instituições credenciadas, visando a complementar as pesquisas de campo para a elaboração da estrutura de uso final e obter dados necessários à simulação dos ganhos potenciais de eficiência energética.

3 - Reconstituição da demanda – elaboração da estrutura de uso final

3.1 - Níveis de desagregação

De modo a se ter um conhecimento razoável da estrutura de uso final e melhorar a confiabilidade dos resultados obtidos, procurou-se desagregar o máximo possível a demanda. Como indicado, o primeiro nível de desagregação foi o estrato mensal de consumo de energia elétrica do domicílio (F1, F2, F3, F4 e F5). Desse modo, os resultados globais foram obtidos através da soma dos resultados individuais de cada estrato. Em cada estrato, a demanda foi reconstituída por equipamento, tomando-se como referência a média aritmética dos valores de cada parâmetros (potência, tempo de uso, etc.).

Embora se observem desagregações por *uso final* (refrigeração, iluminação, etc.), isso é mais importante no levantamento dos dados e análise do peso relativo de cada uso final na composição do consumo total. Na reconstituição da demanda, interessa apenas o equipamento e o estrato a que ele pertence, de onde se extraíram os parâmetros necessários aos cálculos.

3.2 - Determinação dos parâmetros necessários à reconstituição da demanda

Os parâmetros necessários à reconstituição da demanda (consumo e carga) são a *potência*, o *tempo de uso* e o(s) *intervalo(s) horário(s) em que uso ocorre*. Os dois primeiros são necessários ao cálculo ou estimativa do consumo de energia do equipamento, que é dado pelo produto desses dois parâmetros. O último permite calcular o *fator de coincidência* ou *simultaneidade do uso* dos aparelhos, isto é, a porcentagem de aparelhos em uso num dado instante ou intervalo de tempo; o que é necessário para a estimativa da curva de carga de cada equipamento.

Aparentemente, trata-se de parâmetros que podem ser facilmente obtidos e/ou deduzidos, a partir de informações prestadas pelos próprios usuários. No entanto, raramente o usuário conhece suficientemente o tipo de aparelho que possui, o ambiente em que opera e os hábitos de uso e manutenção do mesmo; até porque há uma infinidade de fatores que condicionam esses parâmetros, muitos dos quais são completamente aleatórios (fatores climáticos, por exemplo).

A primeira dificuldade ou incerteza diz respeito à potência do aparelho. Inicialmente, porque a nominal nem sempre é representativa daquela efetivamente requerida num dado instante ou intervalo de tempo (potência efetiva). Para alguns equipamentos – lâmpadas, televisor, aparelho de som, etc. –, tal consideração pode ser aceitável, na falta de informações complementares. Para outros – chuveiro elétrico, ferro de passar, forno de microondas, etc. –, a potência efetiva tende a variar muito em função das condições operacionais do aparelho.

A segunda dificuldade está na determinação do tempo de funcionamento de certos aparelhos, particularmente o ar condicionado e os aparelhos de refrigeração (geladeira e freezer), que, também, varia de acordo com a tipologia do aparelho e a suas condições operacionais. Assim, mesmo que o usuário informe que, habitualmente, usa tantas horas por dia o aparelho, o tempo efetivo de uso (isto é, a duração do funcionamento) continua sendo uma incógnita.

Outro aspecto, normalmente ignorado nas estimativas de demanda/consumo, é a potência requerida no modo de espera (modo *standby*), que tende a ser considerável no caso de equipamentos eletrônicos. Embora a potência requerida nessa modalidade operacional seja normalmente muito reduzida, isso pode significar um consumo adicional de energia bastante significativo, devido ao tempo que o aparelho permanece nesse estado (citar referência).

Por fim, as variações diárias, particularmente entre dias úteis e fins de semana/feriados, mensais e/ou sazonais no uso de certos equipamentos são, também, aspectos que tendem a dificultar os cálculos e reduzir a confiabilidade das estimativas.

Os limites e deficiências do levantamento de dados através da aplicação de questionários podem ser contornados pelo monitoramento sistemático de aparelhos junto aos consumidores. Devido, porém, a inexistência desse tipo de trabalho na região de estudo, procurou-se contornar esses obstáculos através de trabalhos e estudos realizados em outras regiões.

3.3 - Consumo de energia elétrica

Como já mencionado, o consumo de eletricidade de um dado aparelho, num determinado intervalo de tempo, é dado pelo produto de sua potência requerida e o tempo efetivo de uso. Em cada estrato, todo equipamento é constituído por um dado número de aparelhos e, portanto, o consumo de energia de cada equipamento foi calculado através da potência média horária (potência efetiva) e do tempo médio de uso ou funcionamento dos aparelhos. A tabela abaixo apresenta o parque de aparelhos (determinado pelo índice de posse levantado pela pesquisa de campo), a potência média horária, o tempo de uso e o consumo mensal de eletricidade dos equipamentos amostrados na Cidade de Manaus.

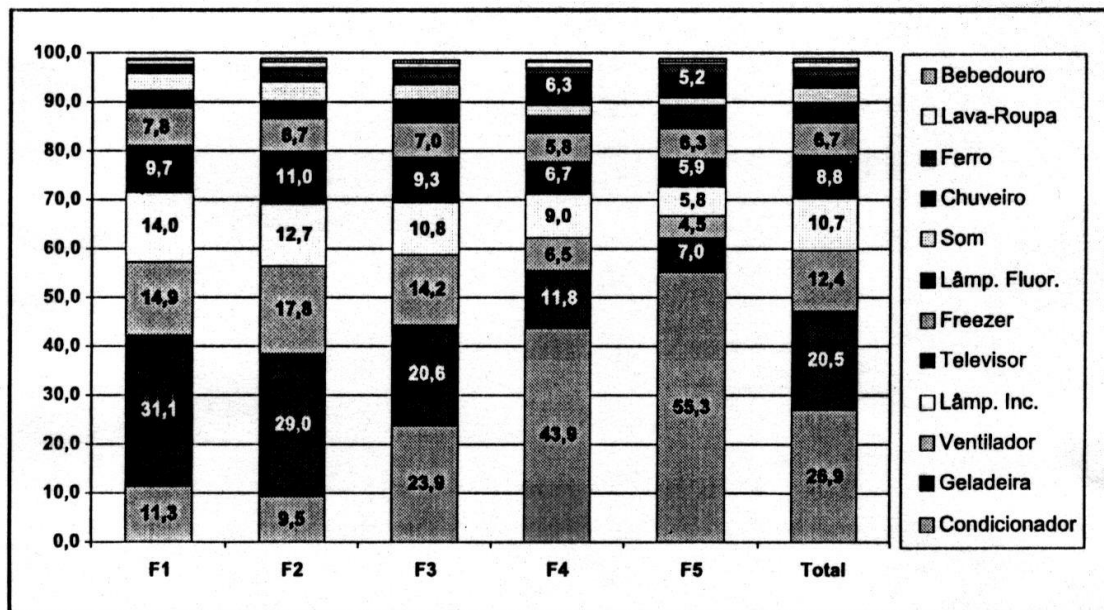
Tabela 1: Estimativa do parque de aparelhos eletrodomésticos, potência média horária, tempo de uso diário e consumo mensal de eletricidade na cidade de Manaus - base: janeiro de 1996.

	Parque de aparelhos (unidades)					Potência média horária (W)					Tempo de uso diário (h)					Consumo de energia (MWh/mês)					Total
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5	
Ar condicion.	4869	10595	27385	27704	17980	668	653	648	644	689	7,5	5,1	6,2	7,1	9,9	731	1060	3279	3800	3663	12533
Geladeira	43382	67807	58303	20568	9233	64	66	67	69	70	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	2009	3217	2817	1024	464	9532
Ventilador	66401	116120	112632	36519	16522	84	92	93	97	116	5,7	6,2	6,2	5,3	5,1	963	1977	1949	564	297	5750
Lâmp. incand.	129261	198336	217313	115014	56368	53	54	52	51	52	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	905	1.413	1.482	777	384	4.962
Televisor	48252	77978	84805	36099	20409	73	79	82	89	84	4,9	5,6	5,2	5,2	6,8	627	1216	1277	579	392	4091
Freezer	4869	8900	15459	8395	6317	143	116	87	83	92	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	501	741	963	503	419	3127
Lâmp. fluores.	67287	137733	191694	105360	69003	27	27	27	27	27	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	238	487	678	373	244	2020
Som	23462	40684	40194	16790	9233	92	100	100	105	108	3,0	2,8	2,8	2,8	2,7	228	402	403	178	97	1307
Chuveiro	443	1695	4859	5877	1944	3060	3060	3060	3060	3060	0,2	0,6	0,4	1,0	1,9	7	91	178	543	348	1167
Ferro elétrico	38513	60179	53445	17630	7289	454	454	452	458	435	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	121	249	304	113	96	883
Bebedouro	1328	2967	4417	2099	1458	125	123	116	128	140	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	40	87	123	64	49	364
Vídeo K7	5755	7205	22968	9655	7289	24	24	23	23	26	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	28	35	111	47	36	256
Lava-roupas	6640	16104	17226	12173	6803	459	459	385	442	410	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	22	49	36	41	35	182
Liquidificador	33201	50855	49470	18050	6803	310	308	314	317	316	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	21	31	31	11	4	99
Microondas	0	424	4859	3358	2916	0	730	876	898	874	0,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0	2	43	19	19	83
Seca-roupas	443	424	883	1679	486	1330	1330	1188	1473	1330	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	9	8	16	37	10	80
Sec. cabelos	3099	5509	9276	3358	3887	916	850	824	819	1200	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	9	14	23	8	14	68
Rádio	8854	16952	16343	3358	2430	22	19	18	20	15	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	12	19	18	4	2	55
Máq. Costura	6640	13985	12367	7136	972	115	110	108	111	115	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	8	15	13	8	1	45
Aspirador	0	848	1325	1259	486	0	683	774	789	910	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0	4	7	7	3	21
Sec. eletrôn.	0	848	442	420	972	0	30	0	30	30	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0	6	1	3	6	15
Computador	0	424	0	2519	1944	0	100	0	100	100	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0	1	0	8	6	15
Enceradeira	885	1695	3975	1259	0	320	250	263	297	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	1	2	4	1	0	9
Forno elétrico	1328	848	442	420	972	693	392	0	600	540	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1	3	2	0	2	1	8
Batedeira	3541	8900	10159	5037	3402	165	161	168	187	180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	1	2	1	1	5
Espr de frutas	2656	6357	8834	7975	3402	195	159	175	166	183	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	1	2	1	1	5
Máq. escrever	0	0	1325	420	486	0	0	140	140	140	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0	0	3	1	1	5
Apar. de fax	0	0	883	420	972	0	0	50	50	50	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0	0	1	1	1	3
Lava-louça	0	0	0	0	486	0	0	0	0	685	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0	0	0	0	2	2
Motor elétrico	0	424	442	0	486	0	370	200	0	190	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0	1	0	0	1	2

A partir desses dados, elaborou-se a estrutura de uso final (Figura 1), onde se observa o destaque do ar condicionado, responsável por cerca de 27% do consumo doméstico de energia elétrica, e do refrigerador (21%). Dentre os demais equipamentos, merecem destaque o ventilador (12%), as lâmpadas incandescentes (11%) e o televisor (9%). Verifica-se, assim, que apenas dois usos finais (climatização – ar condicionado e ventilador – e refrigeração – geladeira e freezer), são responsáveis por aproximadamente 2/3 do consumo total. Incluindo-se a iluminação (15%) e os equipamentos de vídeo e som (12%), chega-se a 93% do consumo total. Contudo, é importante notar que, para alguns equipamentos importantes, há grandes variações entre os estratos. Dentre esses, destacam-se o ar

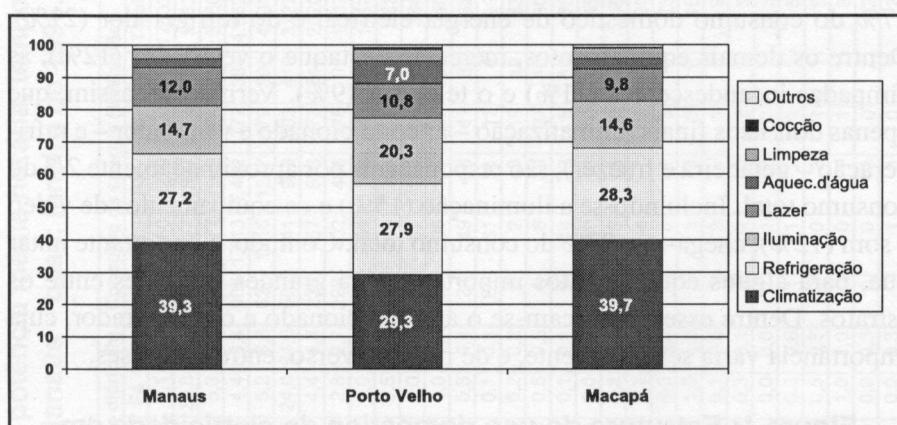
condicionado e o refrigerador, cuja importância varia sensivelmente, e de modo inverso, entre as classes.

Figura 1: Estrutura do uso doméstico de eletricidade em Manaus - janeiro de 1996 (%).



A Cidade de Macapá apresenta uma estrutura de uso final muito similar à de Manaus (Figura 2). Em Porto Velho, merecem destaque o chuveiro elétrico, que representa cerca de 7% do consumo doméstico de energia elétrica, e a iluminação, 20%. Quanto ao chuveiro, sua maior expressividade decorre do maior índice de posse de aparelhos, pois não se observou diferença significativa nos demais parâmetros que condicionam o consumo. Em relação à iluminação, observou-se uma maior ocorrência de lâmpadas incandescentes.

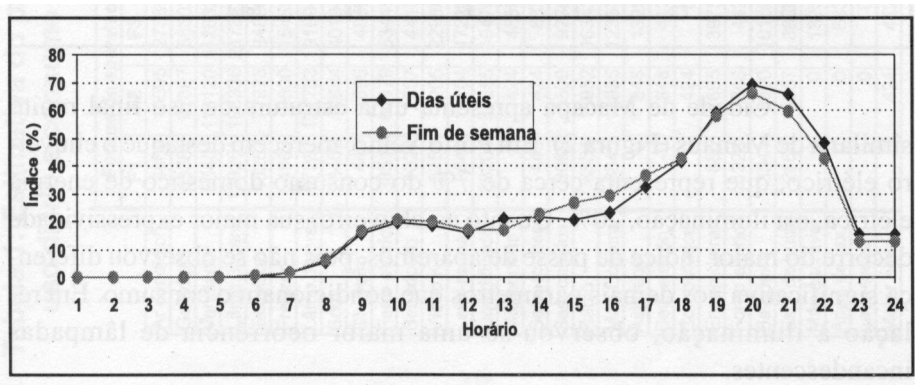
Figura 2: Importância de cada uso final no consumo residencial de eletricidade (%) - base: jan/96.



4 - Curva de carga

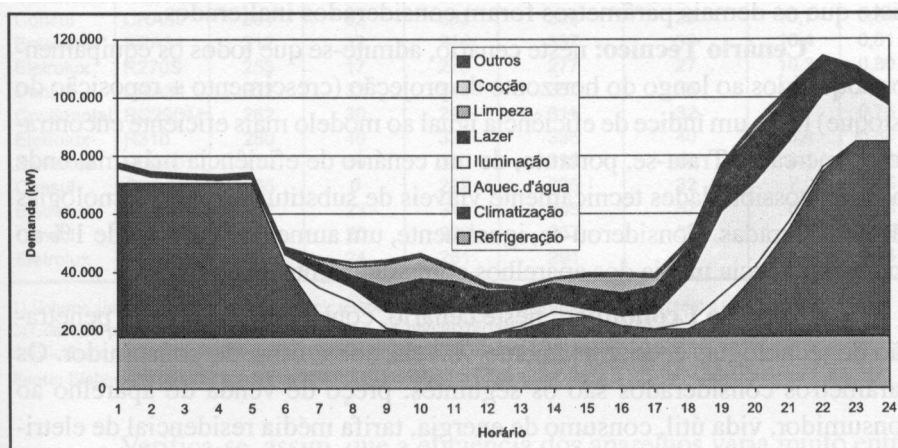
Para a elaboração da curva de carga, além da potência média horária e do tempo de uso, tomou-se como referência os intervalos horários em que o uso habitual foi declarado pelo usuário. A figura abaixo ilustra o exemplo do televisor, na Cidade de Manaus. Inicialmente, nota-se que não se observa muita diferença no uso entre dias úteis e fins de semana/feriados. A demanda máxima ocorre por volta das 20 horas, onde cerca de 70% dos usuários declararam o uso habitual do equipamento.

Figura 3: Fator de simultaneidade no uso do televisor em Manaus - dias úteis x fim de semana.



Tomando-se como referência esses parâmetros, bem como as considerações mencionadas anteriormente, a figura abaixo ilustra a curva de carga do uso doméstico de eletricidade em Manaus, desagregada por uso final. Observa-se, assim, novamente a expressividade da refrigeração e, principalmente, da climatização. A demanda máxima ocorre por volta das 22 horas e deve-se principalmente ao uso generalizado de ar condicionado nesse horário, onde cerca de 75% dos usuários declararam o uso habitual dos aparelhos. Dentre os demais equipamentos e usos finais, merecem destaque a iluminação e o televisor (lazer), devido à expressividade do uso no período de maior demanda do setor.

Figura 4: Estimativa da demanda média horária residencial de eletricidade em Manaus - dia útil.



Quanto às variações entre classes de consumidores e cidades, valem as mesmas observações feitas anteriormente (isto é, em relação à estrutura de uso final). O perfil de carga se altera significativamente entre as classes e, devido à expressividade relativa do chuveiro elétrico e das lâmpadas incandescentes em Porto Velho, observa-se também um perfil de carga ligeiramente diferente nessa cidade.

5 - Ganhos potenciais de eficiência energética

Para simular os ganhos potenciais de eficiência energética, decorrentes da difusão de equipamentos mais eficientes, comparou-se basicamente o desempenho dos equipamentos em uso (amostrados) com o de aparelhos comercialmente disponíveis, tecnicamente equivalentes e energeticamente mais eficientes. As comparações foram feitas levando-se em conta três cenários alternativos e três horizontes de análise, como descritos abaixo.

6 - Cenários alternativos e horizontes de análise/projeção

Cenário Tendencial: neste cenário, procura-se extrapolar para o futuro a tendência observada no passado. Como não se dispõe de dados históricos sobre a eficiência energética dos equipamentos, no contexto das cidades analisadas, considerou-se um aumento “natural” de 1% ao ano, conforme indicam estudos similares (CCE, 1993). Ou seja, admitiu-se que, independente de ações de GLD, haverá uma redução de 1% ao ano no consumo específico dos aparelhos, o que será refletido diretamente na potência nominal, visto que os demais parâmetros foram considerados inalterados.

Cenário Técnico: neste cenário, admite-se que todos os equipamentos adquiridos ao longo do horizonte de projeção (crescimento + reposição do estoque) terão um índice de eficiência igual ao modelo mais eficiente encontrado no mercado. Trata-se, portanto, de um cenário de eficiência máxima, onde todas as possibilidades tecnicamente viáveis de substituição entre tecnologias são consideradas. Considerou-se, igualmente, um aumento “natural” de 1% ao ano na eficiência média dos aparelhos comercialmente disponíveis.

Cenário Econômico: neste cenário, considera-se apenas a penetração de tecnologias economicamente viáveis, sob a ótica do consumidor. Os parâmetros considerados são os seguintes: preço de venda do aparelho ao consumidor, vida útil, consumo de energia, tarifa média residencial de eletricidade e taxa de desconto. Foram considerados economicamente viável os casos em que a escolha de um aparelho eficiente em detrimento de um modelo convencional proporcionava ao consumidor uma taxa interna de retorno maior ou igual a 20% ao ano.

Horizontes de análise: como horizontes de análise, foram considerados os anos 2001, 2006 e 2011. Os motivos para a escolha desses anos são os seguintes: a) o ano base, isto é, aquele em que os dados foram levantados, é 1996; b) a vida útil dos principais equipamentos foi estimada em 15 anos; c) os dados referentes à idade dos aparelhos indicavam apenas a faixa de idade a que eles pertenciam ($0 \leq idade \leq 5$ anos, $5 < idade \leq 10$, e $idade > 10$ anos). Assim, não se sabia a idade exata dos aparelhos. Sabia-se, porém, por hipótese, que aqueles com idade maior que 10 anos deveriam ser substituídos até o ano 2001 (vida útil igual a 15 anos), aqueles com idade entre 5 e 10 anos, até 2006, e os demais, até o ano 2011, quando todos os aparelhos existentes em 1996 terão atingido o fim de sua vida útil e, portanto, deverão ser repostos.

7 - Estimativa dos ganhos potenciais de eficiência – ano base

A tabela abaixo apresenta a capacidade, o consumo padronizado de energia e a eficiência energética de alguns modelos nacionais de refrigeradores domésticos, segundo testes e dados de 1999, fornecidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem/INMETRO³.

Tabela 2: Volume, consumo de energia e eficiência de alguns modelos nacionais de refrigeradores.

Marca	Modelo	V.Refr.(l)	V.Cong.(l)	V.Total(l)	V.Ajust (l)[1]	Consumo[2]	Eficiên.[3]	Índice
Continental	RC29XM	262	30	292	304	24	12,8	1,00
Consul	CRA30	261	32	293	306	29	10,7	0,84
Brastemp	BRA34	312	32	344	357	35	10,4	0,81
Eletrolux	R270S	253	17	270	277	27	10,3	0,80
Consul	CRA34	312	32	344	357	36	10,1	0,79
Continental	RC29DM	262	30	292	311	32	9,7	0,76
Eletrolux	R310	280	40	320	336	40	8,4	0,66
Esmaltec	RG3001	270	30	300	319	40	8,1	0,63
Consul	CRB23	225	0	225	225	32	7,0	0,55
Eletrolux	R340	317	23	340	355	52	6,8	0,53
Consul	CRC23	210	20	229	237	36	6,6	0,52
Eletrlux	R280	257	24	281	291	52	5,6	0,44

Fonte: Elaboração própria, a partir de INMETRO, 1999.

1) Volume ajustado em função do volume e temperatura de cada compartimento (refrigerador e congelador);

2) Consumo padronizado de energia (kWh/mês), i.e, obtido sob condições normalizadas;

3) Eficiência energética - razão entre o volume ajustado e o consumo mensal de energia.

Verifica-se, assim, que a eficiência dos aparelhos varia muito entre os modelos, independentemente da marca. O modelo mais eficiente encontrado no mercado, segundo esses dados, foi o RC29XM, da Continental, com volume interno de 292 litros, consumo mensal de energia de 24 kWh e um índice de eficiência de 12,8. O menos eficiente foi o Eletrolux R280, cuja capacidade é similar à do anterior, porém, seu consumo de energia é mais que duas vezes superior.

Para a estimativa da eficiência dos aparelhos em uso (amostrados), tomou-se como referência a razão entre a potência nominal e o volume útil. Verificou-se, assim, um índice médio da ordem de 0,45 Watts por litro, com pequenos desvios entre cidades e estratos, ao passo que o modelo mais eficiente encontrado no mercado, apresenta um índice de eficiência de 0,28 Watts por litro. Tomando-se como referência esse aparelho, verifica-se (tabela abaixo) que seria possível reduzir entre 37% (Manaus) e 41% (Macapá) o consumo de energia dos refrigeradores domésticos, sem alterar os padrões de uso nem reduzir a capacidade dos aparelhos.

Tabela 3: Potência (W) e estimativa do ganho potencial de eficiência energética dos refrigeradores.

	Manaus			Porto Velho			Macapá		
	Em uso	Mercado	(%)	Em uso	Mercado	(%)	Em uso	Mercado	(%)
F1	129	81	37,3	114	79	31,0	134	83	38,1
F2	132	82	38,0	133	80	40,0	135	83	38,4
F3	134	85	36,8	137	87	36,6	147	81	44,8
F4	138	88	35,9	137	87	36,4	135	81	39,9
F5	140	90	36,1	133	79	40,6	120	70	41,7
Total	133	83	37,3	133	82	38,5	139	82	41,2

Conforme visto anteriormente (Figura 2), os refrigeradores representam cerca de 20% do consumo residencial de eletricidade nessas cidades. Assim, uma redução de 40% na potência média dos aparelhos significa uma redução de 8% de todo o consumo residencial. Quanto à demanda máxima residencial, o refrigerador contribui com cerca de 11%, de modo que o impacto seria de aproximadamente 4,5%.

Análises similares indicam que, em 1996, o potencial tecnicamente viável variava, em média, entre 5%, para o aquecimento de água, e 55%, para a iluminação (tabela abaixo). Para a refrigeração e a climatização, estimou-se índices médios de 35% e 27%, respectivamente. Estima-se, assim que, em média seria tecnicamente possível reduzir cerca de 33% o consumo.

Tabela 4: Síntese do potencial técnico por classe e uso final em cada uma das três cidades (%).

Classe	Iluminação	Refrigeração	Lazer	Climatização	Cocção	Limpeza	Água	Outros	Total
F1	61,4	38,2	34,4	28,2	15,0	13,1	0,0	0,0	38,1
F2	58,8	36,0	33,5	28,5	14,9	15,0	5,0	14,9	36,1
F3	52,2	32,5	34,3	27,4	14,3	13,0	5,0	15,0	32,5
F4	52,9	29,7	33,7	26,4	13,9	18,6	5,0	14,9	29,3
F5	43,1	34,7	33,9	26,1	13,8	14,5	5,0	14,8	28,1
Total	54,7	34,5	33,9	27,1	14,4	14,7	5,0	14,9	32,9

Em termos econômicos, a tabela abaixo ilustra o exemplo dos refrigeradores. Como se observa, o modelo mais eficiente encontrado no mercado apresenta o segundo menor custo final para o consumidor, perdendo apenas para o Consul CRB23. Esse último, no entanto, apresenta uma capacidade bastante inferior à do anterior e, portanto, não pode ser considerado economicamente competitivo. Dentre os demais, verifica-se que o modelo Eletrolux R280 apresenta um preço de venda ao consumidor bastante inferior ao modelo de referência, o Continental RC29XM (cerca de 24% menor). Devido, porém, ao maior consumo de energia, o custo final para o consumidor gira em torno de 18% a mais que o modelo mais eficiente.

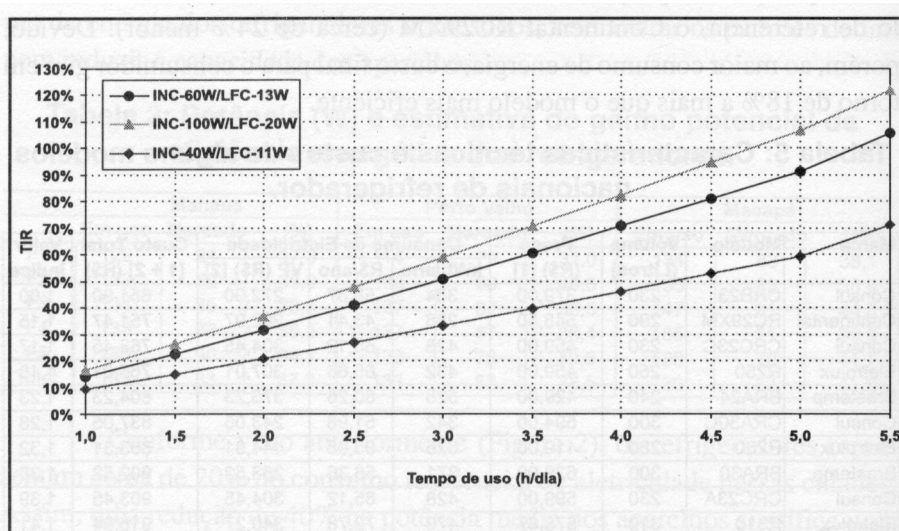
Tabela 5: Características técnicas e custos de alguns modelos nacionais de refrigeradores.

Marca	Modelo	Volume (Litros)	Preço (R\$) [1]	Consumo de Eletricidade			Custo Total [1+2] (R\$)	Valor Índice
				kWh/ano	R\$/ano	VP (R\$) [2]		
Consul	CRB23	230	379,00	384	58,37	272,90	651,90	1,00
Continental	RC29XM	290	548,50	286	43,41	202,97	751,47	1,15
Consul	CRC23C	230	459,00	428	65,12	304,45	763,45	1,17
Eletrolux	R250	250	459,00	432	65,66	307,01	766,01	1,18
Brastemp	BRA24	240	429,00	528	80,26	375,23	804,23	1,23
Consul	CRA30C	300	594,00	342	51,98	243,05	837,05	1,28
Eletrolux	R280	280	419,00	625	95,03	444,31	863,31	1,32
Brastemp	BRA30	300	639,00	371	56,36	263,52	902,52	1,38
Consul	CRC23A	230	599,00	428	65,12	304,45	903,45	1,39
Eletrolux	R310	310	578,67	479	72,78	340,27	918,94	1,41
Consul	CRB34	340	639,00	426	64,75	302,75	941,75	1,44
Consul	CRA34C	340	664,00	426	64,75	302,75	966,75	1,48
Brastemp	BRA34	340	709,00	414	62,93	294,22	1.003,22	1,54
Brastemp	BRD32A	320	939,00	602	91,56	428,11	1.367,11	2,10

Conclui-se, portanto, que, com exceção dos consumidores que optarem por um aparelho menor, o modelo mais eficiente encontrado no mercado, tanto em termos técnicos quanto econômicos é o Continental RC29XM. Assim, a diferença entre o potencial técnico e o econômico é pouco significativa, tendo em vista que essa parcela de consumidores é pouco expressiva.

Resultados similares são observados para os demais equipamentos. A figura abaixo ilustra o caso da iluminação. Como se observa, a escolha de uma lâmpada fluorescente compacta (LFC) em detrimento de uma incandescente convencional, proporciona grande retorno para o consumidor, mesmo que o tempo de uso diário seja relativamente reduzido. Somente quando o tempo de uso diário for inferior a 2 horas (no caso de uma incandescente de 40 W por uma LFC 11 W), 1,4 hora (incandescente de 60 W por LFC 13 W) e 1,2 hora (incandescente de 100 W por LFC 20 W) as substituições proporcionam retorno inferior a 20% ao ano.

Figura 5: Taxa interna de retorno do investimento em tecnologias de iluminação eficiente.



As diferenças entre os potenciais técnico e econômico podem ser reduzidas, quando se consideram outros benefícios que não aqueles proporcionados diretamente aos consumidores, como a redução da carga máxima do sistema, por exemplo. No caso dos refrigeradores, por exemplo, a aquisição de um aparelho eficiente em detrimento de um convencional proporciona, além das economias de energia mencionadas anteriormente, uma redução média de aproximadamente 25 W na carga do sistema. Sob uma perspectiva global, esse benefício adicional deveria ser incluído nos cálculos de retorno do investimento; o que, naturalmente, aumentaria a viabilidade econômica das referidas substituições. Maiores detalhes a respeito disso, são apresentados no decorrer dos próximos itens.

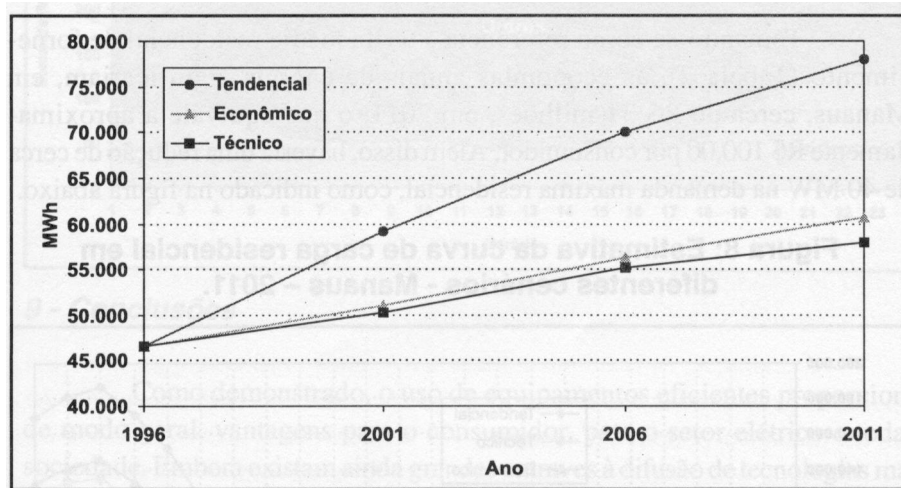
8 - Projeções da demanda e impactos da difusão de tecnologias eficientes

Como já mencionado, os ganhos potenciais de eficiência podem ser melhor avaliados ao longo do tempo, à medida que o parque de aparelhos aumenta e se renova, em função do crescimento do mercado consumidor e do sucateamento de aparelhos. Para avaliar essa possível difusão gradual de tecnologias eficientes, foram considerados os seguintes parâmetros: a) taxa de crescimento do número de consumidores; b) taxa de crescimento do índice de posse de aparelhos e níveis de saturação; e c) idade dos aparelhos em uso e vida útil ou durabilidade. Esses parâmetros foram determinados com base nas informações levantadas pela pesquisa de campo, dados fornecidos pelas concessionárias locais de eletricidade e outras fontes consultadas. Detalhes sobre a metodologia empregada são encontrados em POMPERMAYER (2000).

A figura abaixo apresenta as projeções do consumo residencial de energia elétrica em Manaus, segundo os dados obtidos, os parâmetros utilizados e a metodologia empregada. Como se observa, os ganhos potenciais de eficiência aumentam ao longo do tempo, à medida que o parque de aparelhos se

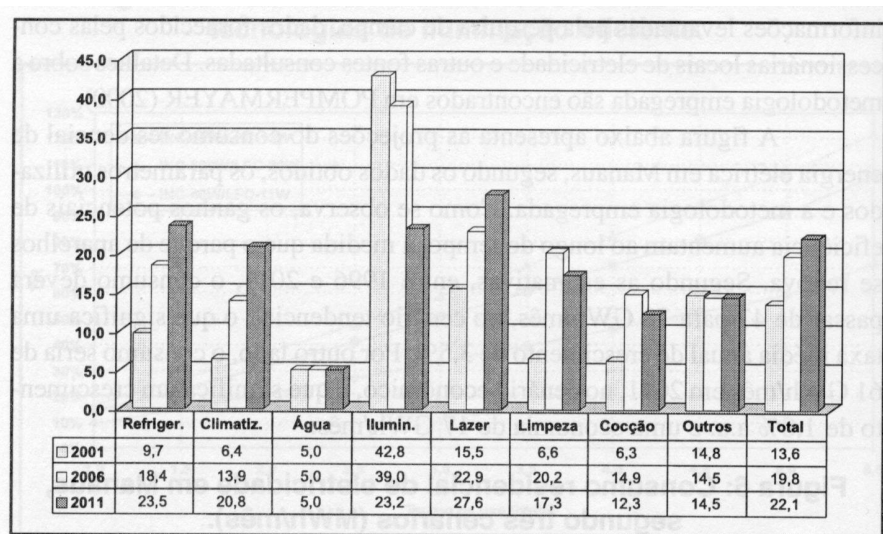
renova. Segundo as estimativas, entre 1996 e 2011, o consumo deverá passar de 47 para 78 GWh/mês, no cenário tendencial, o que significa uma taxa média anual de crescimento de 3,5%. Por outro lado, o consumo seria de 61 GWh/mês em 2011, no cenário econômico, o que significa um crescimento de 1,8% a.a. e uma economia de 17 GWh/mês.

Figura 6: Consumo residencial de eletricidade em Manaus, segundo três cenários (MWh/mês).



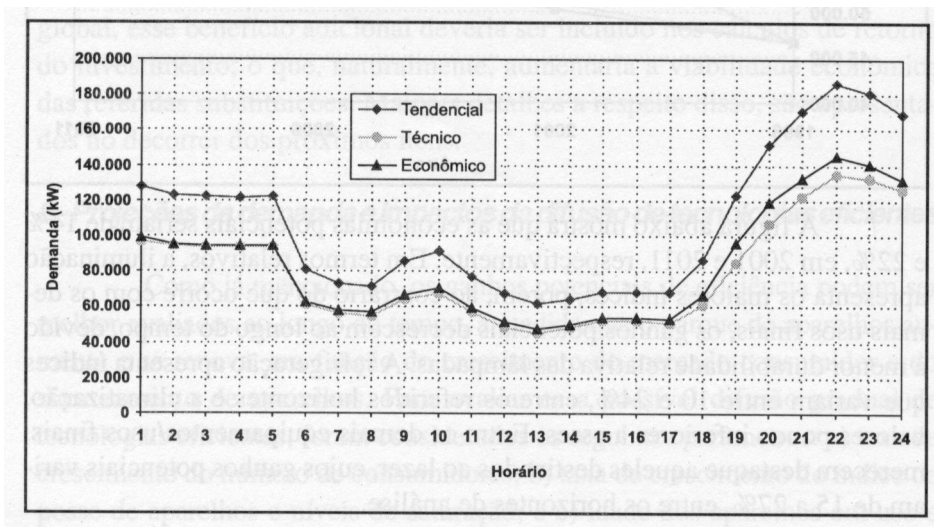
A figura abaixo mostra que as economias potenciais seriam de 14% e 22%, em 2001 e 2011, respectivamente. Em termos relativos, a iluminação apresenta os maiores índices, porém, ao contrário do que ocorre com os demais usos finais, os ganhos potenciais decrescem ao longo do tempo, devido à menor durabilidade relativa das lâmpadas. A refrigeração apresenta índices que variam entre 10 e 24%, entre os referidos horizontes e a climatização, valores pouco inferiores a esses. Entre os demais equipamentos/usos finais, merecem destaque aqueles destinados ao lazer, cujos ganhos potenciais variam de 15 a 27%, entre os horizontes de análise.

Figura 7: Ganhos potenciais de eficiências por uso final(%) - Manaus, 2011.



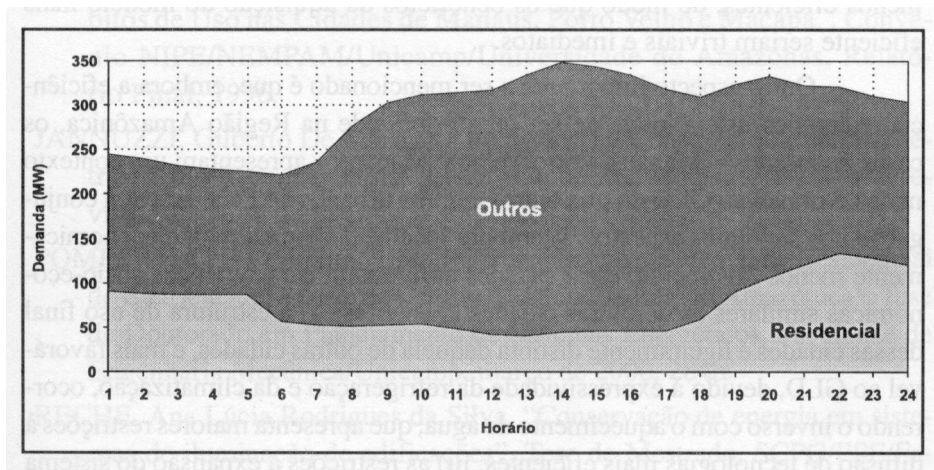
Tomando-se como referência a tarifa média residencial de fornecimento (Tabela 2), as economias anuais de energia significariam, em Manaus, cerca de R\$ 31 milhões, em 2011, o que equivale a aproximadamente R\$ 100,00 por consumidor. Além disso, haveria uma redução de cerca de 40 MW na demanda máxima residencial, como indicado na figura abaixo.

Figura 8: Estimativa da curva de carga residencial em diferentes cenários - Manaus - 2011.



Como ilustra a figura abaixo, a demanda máxima do Sistema Manaus ocorre por volta das 14:00 horas, onde a contribuição do setor residencial é da ordem de 13% apenas, segundo as referidas estimativas. Contudo, observa-se que a demanda do sistema apresenta uma curva pouco acentuada no horário de pico – graças ao funcionamento quase contínuo do setor industrial. Desse modo, uma pequena redução no pico do sistema transfere-o para a o horário de ponta do setor residencial. Em resumo, as reduções na demanda residencial podem ter grande impacto na curva de carga do sistema.

Figura 9: Curva de carga do Sistema Manaus e contribuição do setor residencial - janeiro de 1997.



9 - Conclusões

Como demonstrado, o uso de equipamentos eficientes proporciona, de modo geral, vantagens para o consumidor, para o setor elétrico e toda a sociedade. Embora existam ainda grandes entraves à difusão de tecnologias mais eficientes, eles têm se reduzido muito nos últimos anos. Um exemplo interessante é o da iluminação, onde o preço de uma lâmpada eficiente e o valor da tarifa de eletricidade, desencorajavam o uso de tecnologias eficientes de iluminação.

Como indicam estudos realizados no início dos anos noventa (RECHE, 1991; JANNUZZI, 1993, dentre outros), o custo de um quilowatt-hora economizado pela substituição de uma lâmpada incandescente convencional (LIC) por uma fluorescente compacta (LFC) era da ordem de US\$ 0,15. Assim, mesmo com uma taxa de desconto de 6% ao ano, para que a referida substituição fosse

economicamente viável para o consumidor residencial, eram necessários subsídios de 40% do preço da lâmpada. Atualmente, a substituição de uma LIC de 100 W por uma LFC de 20 W pode proporcionar ao consumidor uma taxa interna de retorno superior a 100% ao ano, caso o tempo médio de uso seja maior ou igual a 55 horas por dia (Figura 5).

Com menor intensidade, porém, de modo bastante expressivo, verifica-se o mesmo em relação a vários outros equipamentos, dentre os quais se destaca o refrigerador, devido à sua importância nos domicílios brasileiros. Conforme demonstrado, o custo aparentemente maior de um aparelho mais eficiente tende a ser altamente compensado pelo seu melhor desempenho energético. Além disso, verifica-se a existência de aparelhos mais caros e menos eficientes, de modo que os benefícios da aquisição do modelo mais eficiente seriam triviais e imediatos.

Outro aspecto importante a ser mencionado é que, embora a eficiência energética esteja longe de ser uma prioridade na Região Amazônica, os casos analisados – Manaus, Porto Velho e Macapá – apresentam um contexto mais favorável ao GLD do que outros centros urbanos do País, graças à conjugação dos seguintes aspectos: i) embora localizadas numa região economicamente menos favorecida, essas cidades apresentam características sócio-econômicas similares as de outras cidades brasileiras; ii) a estrutura de uso final dessas cidades é ligeiramente distinta daquela de outras cidades, e mais favorável ao GLD, devido à expressividade da refrigeração e da climatização, ocorrendo o inverso com o aquecimento de água, que apresenta maiores restrições à difusão de tecnologias mais eficientes; iii) as restrições à expansão do sistema elétrico nessas cidades são visivelmente maiores que em outras regiões do país.

Em síntese, os resultados desta investigação indicam que, além dos benefícios proporcionados diretamente ao consumidor final, as opções do lado da demanda podem ser competitivas e mais vantajosas do aquelas do lado da oferta; principalmente diante da situação atual do Setor Elétrico Brasileiro, em que as opções de expansão do sistema enfrentam restrições de diversas ordens e dimensões: conjunturais, tecnológicas, econômicas, financeiras, ambientais, etc.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro e/ou estrutural das instituições supracitadas, em particular, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

Referências bibliográficas

COCHRAN, W.G. “Técnicas de Amostragem”. Fundo de Cultura (tradução), Rio de Janeiro, 1965.

Comissão das Comunidades Europeias – CCE. “Study on Energy Efficiency Standards for Domestic Refrigeration Appliances”. GEA – Group for Efficient Appliances, Working Group 106 – Relatório final, março de 1993.

JANNUZZI, Gilberto De Martino, PARENTE, R. C. P., BRAGA, A e LEONARDI, M.L. . “Pesquisa sobre Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso nas Cidades de Manaus, Porto Velho e Macapá”. Convênio NIPE/NEMPAM/Unicamp/Universidade do Amazonas, Relatório Final, 1996.

JANNUZZI, Gilberto De Martino. “Planejando o Consumo de Energia Elétrica Através de Programas de Difusão de Tecnologias Eficientes”. Revista Brasileira de Energia, Vol. 3 (1): 176-188; Rio de Janeiro, 1993.

POMPERMAYER, Máximo Luiz. “Gerenciamento da Demanda Residencial de Eletricidade: o Caso de Centros Urbanos da Região Amazônica”. Tese de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica/Unicamp, março de 2000, 284p.

RECHE, Ana Lúcia Rodrigues da Silva. “Conservação de energia em sistemas de iluminação de edificações”. Tese de Mestrado, SCPG/PSE/Faculdade de Engenharia Mecânica/Unicamp, junho de 1991, 180p.

1Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL/Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas - SIH
SGAN 603 Módulo J – 70830-030 – Brasília-DF – Fone: (61) 312-5312 – maximo@aneel.gov.br

2Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM
C.P. 6122, 13083-970 – Campinas-SP – Fonte: (19) 788-3282 – jannuzzi@fem.unicamp.br

3 www.inmetro.gov.br/pbetab1.htm.

4Tarifa regulada pela ANEEL – Resolução 161/99.