

Metodologia de análise de custo do ciclo de vida (ACCV)

Guilherme de C. Queiroz¹
Gilberto De M. Jannuzzi²
Edson A. Vendrusculo³
Herculano Xavier da Silva Júnior⁴
Eloísa Elena Corrêa Garcia⁵

ABSTRACT

The Brazilian law 10.295/2001 set the principles for the “National Energy Conservation Policy and Rational Use of Energy”. The law requires the development of energy standards for all of energy consuming equipment commercialized in the country. This paper presents the impacts of introducing cost-effective improvements in domestic refrigerators that were determined by means of a LCCA analysis. The analytical approach and computer simulation tool used in the study are the ones employed for the US DOE as well as the European Commission.

The results were used to estimate the impacts of efficiency standards on new refrigerators up to year 2020. This paper presents one of the two hypothetical cases developed in this study. This Case B assumes that, in 2000 year, 53% of the Brazilian one-door refrigerators were models already more efficient than the market average models and, the others 47% were models with an average efficiency. It is a realistic scenario that assumes that the suggested improvements get more impact in 47% of the existed market. Case B assumes that part of these innovations would be included in a first mandatory standard enforced in year 2005 and in 2010 a second mandatory standard would consider all the innovations analyzed.

In Case B, we assume two mandatory standards, one enforced in year 2005 that yields a 24% reduction. A second mandatory standard set in 2010 reduces by 48% (compared to the base year 2000 refrigerator consumption). The payback time was calculated as 7 years (less than the estimated 16 years lifetime of the refrigerators). Over 2005-2020 period, Brazil would save 70 TWh, the consumers would save 9 billion reais - R\$ and something like 1.5 billion US\$ (in CDM – clean development mechanism in a 40 US\$/tCO₂ scenario) due to the nation that would save 34,000 GgCO₂.

RESUMO

A Lei Brasileira 10.295/2001 estabelece os princípios da “Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” e determina o desenvolvimento de padrões de energia para todos os equipamentos comercializados no Brasil que consomem energia. Este artigo apresenta metodologias utilizadas nos Estados Unidos e na Europa. Também são apresentados os impactos da introdução de melhorias (inovações tecnológicas) viáveis economicamente (de custo-efetivo) por meio da análise do custo do ciclo de vida (ACCV) dos refrigeradores populares (geladeiras domésticas de uma porta Brasileiras). Os resultados das simulações de introdução de inovações em refrigeradores melhorando sua eficiência energética foram usados para estimar os impactos de novos padrões de eficiência energética num período de 15 anos (2005 a 2020). Um dos cenários desenvolvidos assumiu em 2000 que 53% dos refrigeradores populares Brasileiros eram modelos já mais eficientes que a média do mercado e que os restantes 47% eram modelos de eficiência média, ou seja, um cenário bastante realista que assumia que as melhorias sugeridas tinham maior impacto para 47% do mercado existente.

Foi sugerido um padrão que estabelecia uma redução de 24% no consumo energético, comparado com o consumo do refrigerador no ano de 2000, para ser atingido num período de cinco anos (2005) e, 48% num período de 10 anos (2010). Para se atingir os 24% de eficiência, o período de retorno do investimento foi calculado em 7 anos (menos da metade da vida útil da geladeira estimada em mais de 16 anos). Também neste caso (padrão de 24% à partir de 2005), no período de 15 anos (2005-2020) o Brasil economizaria aproximadamente 70 TWh, os consumidores economizariam aproximadamente 9 bilhões de reais (R\$), além dos aproximadamente 1,5 bilhões de dólares (US\$) possíveis de serem negociados como crédito de carbono (MDL – mecanismo de desenvolvimento limpo num cenário de aproximadamente 40 US\$/tCO₂) uma vez que o país deixaria de emitir cerca de 34 MtCO₂.

¹ Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Embalagem-CETEA

² Departamento de Energia/Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP e IEI

³ Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação-UNICAMP

⁴ UNICAMP

⁵ Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Embalagem-CETEA

INTRODUÇÃO

No Brasil os rótulos de eficiência energética são usados de forma voluntária desde 1989. No ano de 2001 o governo Brasileiro introduziu uma legislação de padrões de mínima eficiência que deverão ser obrigatórios nos próximos anos.

O principal objetivo deste trabalho é discutir a implantação/aplicação da metodologia de Análise de Custo do Ciclo de Vida - ACCV, como ferramenta para o estabelecimento de padrões de eficiência energética, complementares aos rótulos voluntários já existentes, para refrigeradores populares Brasileiros.

O conceito de ACCV envolve tanto os custos e benefícios econômicos “contabilizáveis” quanto os impactos muitas vezes quantificáveis, porém, não “contabilizáveis”, denominados na literatura como externalidades (QUEIROZ, 1999). Isto pode ser exemplificado através de um quadro ilustrativo como mostra a Figura 1.

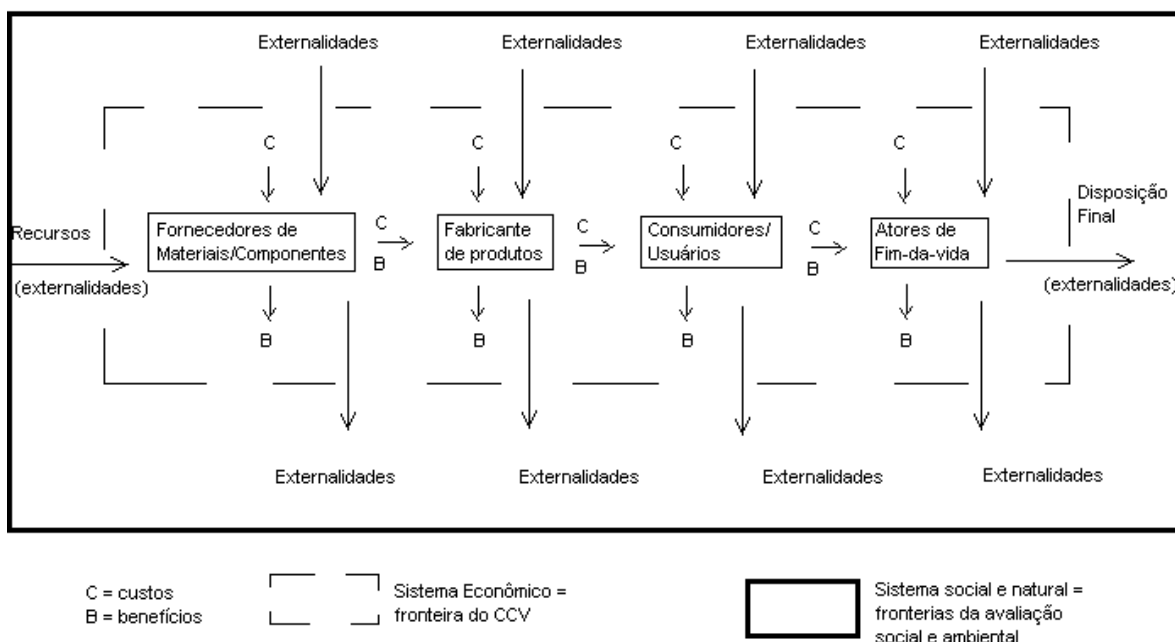


Figura 1 – Fronteiras do CCV - custo do ciclo de vida (QUEIROZ, 2004).

A fronteira deste sistema econômico do ciclo de vida de um produto engloba desde a extração das matérias-primas (recursos como, por exemplo, o petróleo, madeira das árvores, cana-de-açúcar etc.) até o destino final do produto após seu uso. Avalia-se, inclusive, a contribuição, em termos de gestão de resíduos, de todas as etapas de cadeia de suprimentos (supply chain com, por exemplo, reciclagens internas, ou seja, aproveitamento de aparas etc.), do consumo e do aproveitamento no fim-da-vida do produto, com os denominados atores de fim-da-vida com, por exemplo, processos de revalorização pós-consumo (reciclagem mecânica, recuperação energética, reutilização, entre outros).

Uma vez que a metodologia de ACCV exige uma praticidade, passa-se a “internalizar” algumas externalidades (possíveis e importantes) como, por exemplo, subsídios ao uso de energia renovável, que poderiam ser “antecipados” nos processos de cálculos econômicos para apoiar as tomadas de decisão, como ilustrado na Figura 2. Estas deixam então de ser externalidades uma vez que passam a ser custos “contabilizados” - Figura 3.

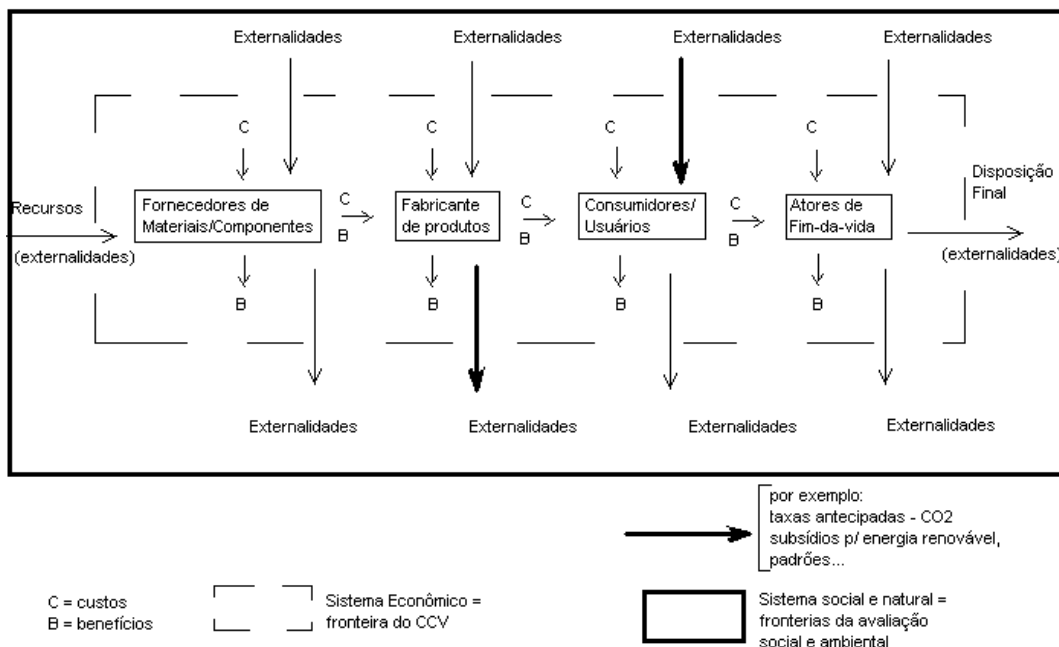


Figura 2 – Seleção de externalidades (QUEIROZ, 2004).

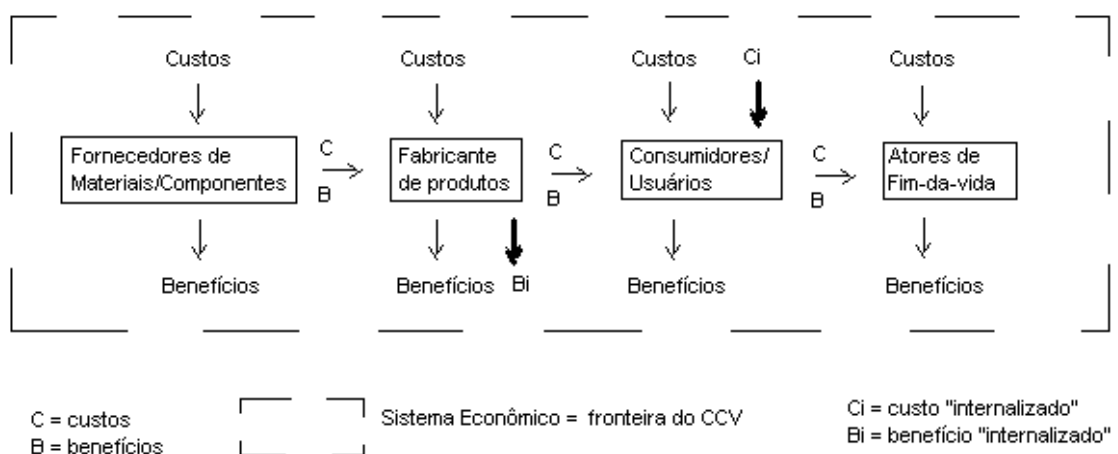


Figura 3 – Internalização das externalidades (QUEIROZ, 2004).

Além desta "internalização" das externalidades de possível "contabilização", é possível fazer uma análise de ACCV a partir de diferentes perspectivas, como, por exemplo, perspectiva do fabricante de determinado equipamento/máquina (Figura 4), perspectiva do fabricante e seus fornecedores (cadeia de suprimentos - Figura 5), perspectiva do consumidor (Figura 6) etc.

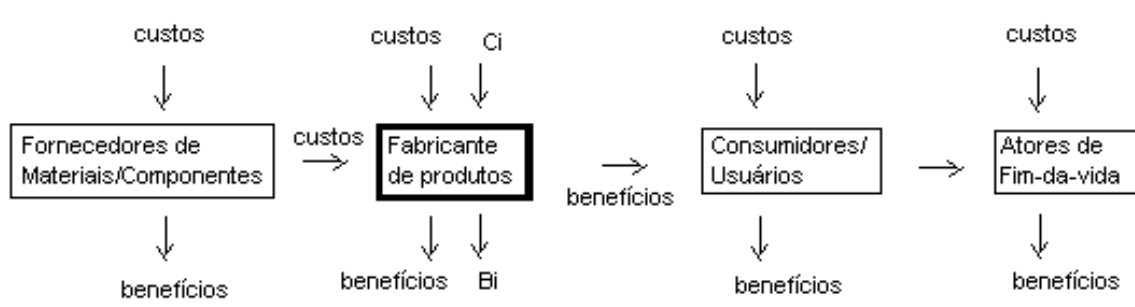


Figura 4 – Perspectiva do fabricante (QUEIROZ, 2004).

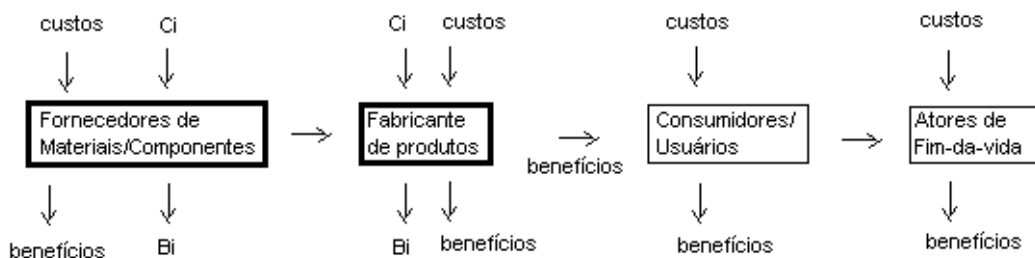


Figura 5 – Perspectiva do fabricante e fornecedores – supply chain (QUEIROZ, 2004).

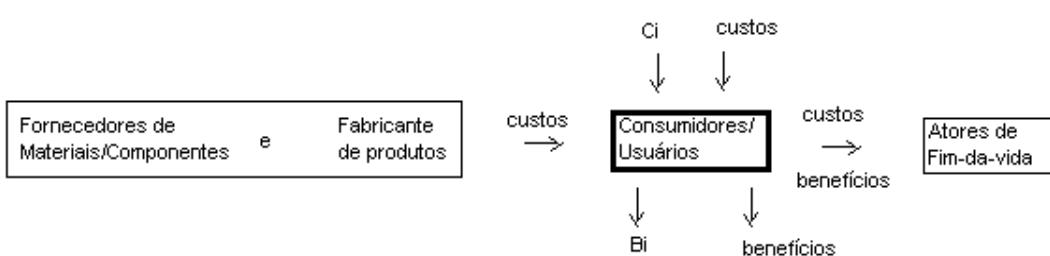


Figura 6 – Perspectiva do consumidor (QUEIROZ, 2004).

O suporte aos órgãos governamentais (Figura 7) passa a ser uma das maiores aplicações desta ferramenta de ACCV, uma vez que possibilitam analisar os diversos atores envolvidos e/ou as diversas cadeias/setores, como, por exemplo, o uso de resíduos de alguns clusters industriais (p.ex. cinzas das termelétricas) por outros setores (p.ex. construção civil) etc.

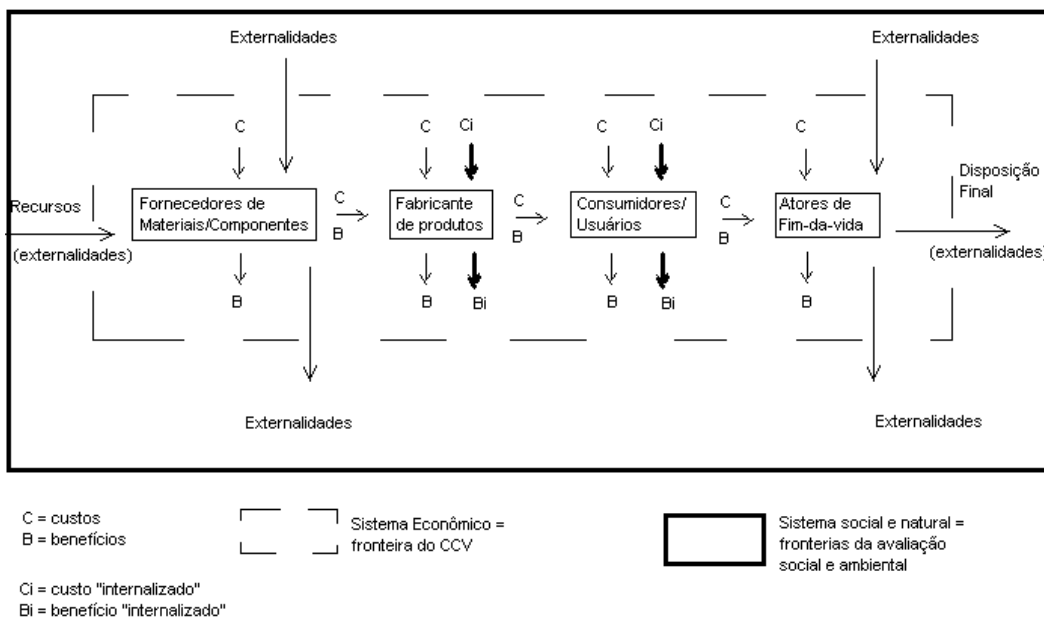


Figura 7 – Perspectiva do Governo/País (QUEIROZ, 2004).

O governo deve então estar preparado, com pessoal capacitado nas mais diversas áreas de aplicação destes conceitos de ciclo de vida (como, por exemplo, eletrodomésticos, construção civil, produtos para exportação e substituição de importações etc.), pois, este será um fator cada vez mais importante num mundo globalizado. Além desta importância como ferramenta de suporte às tomadas de decisões de investimentos e postura política internacional, o conceito de ciclo de vida possibilita um maior conhecimento sobre os produtos.

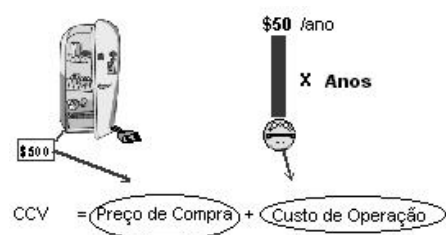
METODOLOGIA ACCV

Existem diferentes metodologias para se estimar o período de retorno do investimento e a ACCV. A ACCV utilizada aqui considera o consumidor, economias de energia e impacto econômico nacional, impacto nos fabricantes, impactos na oferta de energia e impactos ambientais.

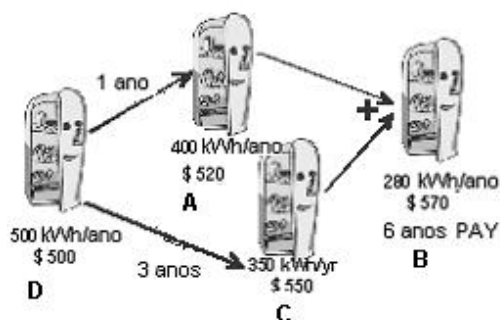
Além do Manual CLASP (2001), outro documento que utiliza este formato de estudo é o “Technical Support Document: Energy Efficiency Standards for consumer products: Refrigerators, Refrigerator-Freezers, & Freezers” do Departamento de Energia dos EUA (DOE, 1995).

Uma análise de engenharia econômica mostra os custos extras de fabricação que acompanham o aumento da eficiência energética. Estes devem ser ponderados em relação aos custos da energia referentes às metas (padrões) de redução. O procedimento de engenharia econômica não prescreve que os fabricantes devam usar as opções técnicas usadas na análise (ACCV) para atingir os padrões de eficiência energética. A metodologia simplesmente assegura que existe pelo menos um caminho prático para atingir o padrão. Uma vez que a análise de engenharia econômica é completada, analisam-se os impactos econômicos das potenciais melhorias em eficiência energética para os consumidores, utilizando as metodologias de período de retorno do investimento (payback period) e ACCV.

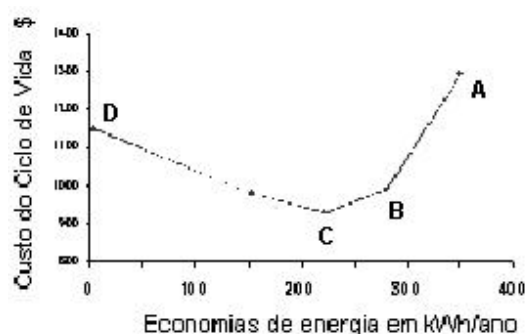
A ACCV tem como instrumento o Custo do Ciclo de Vida (CCV) que é a somatória do custo de compra (P) e os custos operacionais anuais (O) descontados no tempo de vida útil (N, em anos) do aparelho (ver ilustração na Figura 8 e equações no Quadro 1). Comparado ao payback period, o CCV inclui considerações de dois adicionais fatores: vida útil do aparelho e taxa de desconto para o consumidor.



8.a) CCV



8.b) inovações tecnológicas, CCV e *payback period*



8.c) ACCV

Figura 8 – CCV e Payback period (QUEIROZ, 2004).

Na Figura 8.a é ilustrada a forma de cálculo do CCV para a análise isolada de cada melhoria técnica (caso base, inovação tecnológica 1, inovação tecnológica 2 etc.).

Na Figura 8.b são ilustrados exemplos de período de retorno do investimento (payback period - anos), custos operacionais (kWh/ano) e preço (\$) por alternativa (D = caso base; A = caso base mais inovação tecnológica 1; C = caso base mais inovação tecnológica 2; B = caso base mais inovações tecnológicas 1 e 2 etc.).

Na Figura 8.c ilustra-se o gráfico final de ACCV com os CCVs de cada alternativa analisada.

Quadro 1 – Calculando CCV e Payback Period.

CCV:

$$CCV = P + \sum_{t=1}^N \frac{O_t}{(1+r)^t}$$

P = preço de venda ao consumidor (\$);

O = custos operacionais (eletricidade etc.);

r = taxa de desconto real para o consumidor;

N = tempo de vida útil (anos);

t = tempo (anos) desde a aquisição do equipamento (eletrodoméstico).

Se, os custos operacionais são constantes no tempo:

$$CCV = P + PWF * O$$

Sendo que o PWF (fator de atualização presente) é:

$$PWF = \sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r} \left[1 - \frac{1}{(1+r)^N} \right]$$

Payback period (PAY):

$$\Delta P + \sum_{t=1}^{\text{PAY}} \Delta O_t = 0$$

e PAY é o momento onde se encontra a inversão do sinal da equação, ou seja, é onde o investimento (no preço de compra) se iguala às economias operacionais (conta de energia elétrica):

$$PAY = - \frac{\Delta P}{\Delta O}$$

Fonte: CLASP, 2001 e BIERMAYER, 2001.

APLICAÇÕES DA ACCV NA ÁREA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO MUNDO

É importante salientar que a ACCV é aplicada tanto nos EUA quanto na Europa, de forma complementar a outras ferramentas, como, por exemplo, os selos de eficiência energética.

Eficiência Energética na Europa:

Na Europa, já desde o início dos anos 1990 se desenvolve a padronização de mínima eficiência energética. A CLASP (2001) salienta um trabalho desenvolvido pelo GEA (Grupo de Eficiência Energética) que verificou que utilizando a metodologia de ACCV atingiam-se padrões de eficiência energética de longo prazo com consumos de eletricidade bem menores que os alcançados pelas metodologias estatísticas.

Na Figura 9 é ilustrado o consumo obtido considerando a metodologia de ACCV (curva long term standard) e o procedimento estatístico (curvas média/average, 10% economia/savings e 15% economia/savings).

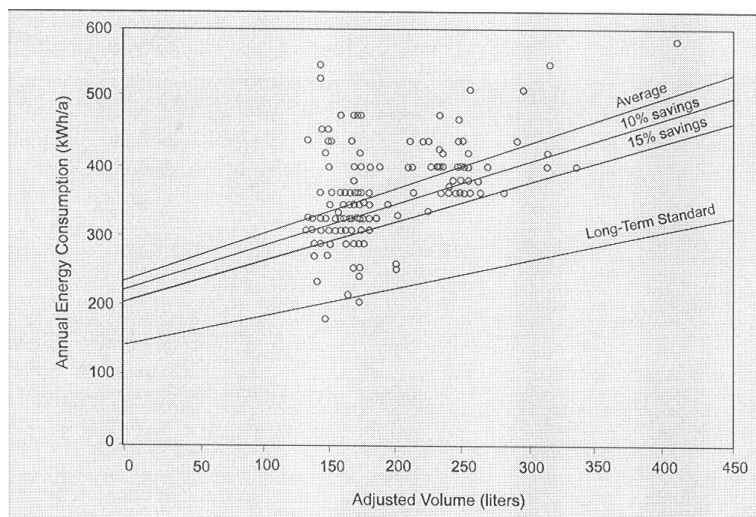


Figura 9 – Estudo do GEA utilizando metodologia estatística e ACCV (CLASP, 2001).

Tomando como exemplo um volume ajustado de aproximadamente 300 litros e 400kWh/ano, os resultados mostrados na Figura 9 indicam que para a metodologia ACCV resulta um consumo anual de aproximadamente 250kWh/ano ao passo que para o procedimento estatístico este valor é de cerca de 360kWh/ano para a curva de 10% de economia e 340kWh/ano para a de 20%. Esta diferença deve-se ao melhor conhecimento do setor proporcionado pela metodologia de ACCV em comparação à metodologia estatística, uma vez que a ACCV deverá envolver as indústrias produtoras (inclusive com o apoio de outras legislações que proporcionem o acesso a dados técnicos, de custos etc.) permitindo uma maior competição pela qualidade inclusive ambiental.

Eficiência Energética nos EUA:

Nos EUA, também já desde o início dos anos 1990 se desenvolve a padronização de mínima eficiência energética. Os padrões são revistos periodicamente (CLASP, 2001) como ilustra a Figura 10 numa constante negociação entre governo, setor industrial e consumidores residenciais.

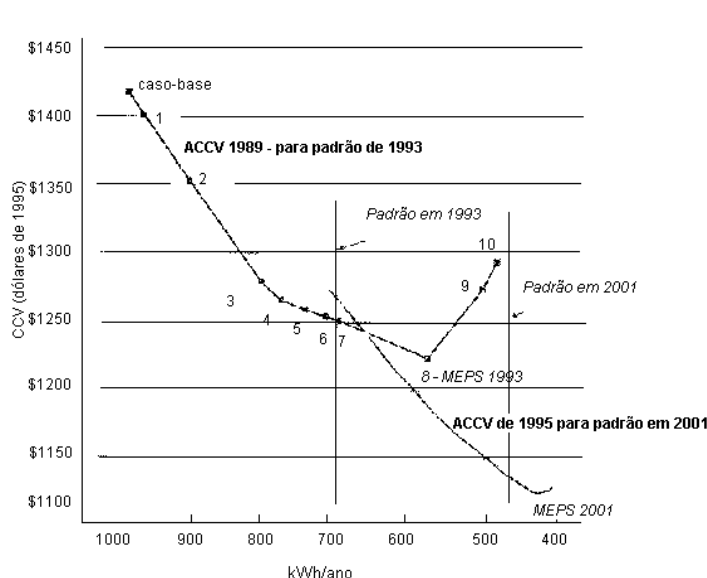


Figura 10 – Metodologia ACCV dos EUA (CLASP, 2001).

O gráfico da Figura 10 ilustra como a ACCV é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão e, é um ponto base para a negociação entre os diversos setores. Por exemplo, no estudo de ACCV norte-americano desenvolvido em 1989 para estipular padrão para 1993, mesmo com uma proposta de mínima de eficiência energética “MEPS” (minimum energy performance standards – ponto 8 da Figura 10) bastante interessante para os consumidores residenciais que teriam o menor custo do ciclo de vida, o governo, negociando com o setor industrial e entendendo suas dificuldades, propõe um “padrão em 1993” um pouco menos restritivo para o ano projetado. Desta forma, em 1989 o governo norte-americano fez um estudo de ACCV o qual mostrou que os refrigeradores poderiam ser melhorados a tal ponto que um consumo mínimo (MEPS) de aproximadamente 950kWh/ano poderia passar para cerca de 620kWh/ano. A Figura 10 ilustra, através da curva superior, que o MEPS foi obtido quando oito alterações técnicas (inovações tecnológicas indicadas por números e pontos sobre a curva) foram embutidas no refrigerador. Note que além do ponto (8) de MEPS as alterações técnicas (pontos 9 e 10) produzem um consumo menor mas o custo do ciclo de vida (CCV) final do produto para o consumidor aumenta e, portanto, é desconsiderada.

Em 1995 foi desenvolvido um novo projeto de ACCV nos EUA que já partiu de um consumo médio anual (da classe de refrigerador analisada) de aproximadamente 700kWh/ano. Esta nova etapa do processo de ACCV e padronização da eficiência energética dos refrigeradores norte-americanos sugeria, então, um MEPS para 2001 de aproximadamente 450kWh/ano, entretanto, em nova negociação com os setores envolvidos (fabricantes, consumidores etc.) estipulou-se um padrão para 2001 de cerca de 480kWh/ano para aquela classe de refrigeradores analisados.

A Figura 10 ilustra o gráfico final de ACCV com os CCVs de cada alternativa analisada. A ACCV pode ser definida como uma análise sistemática do processo de avaliação de várias alternativas em andamento (várias inovações dando origem a várias CCVs) e de ações cujo objetivo é de selecionar o melhor caminho para empregar os recursos disponíveis (FABRYCKY and BLANCHARD, 1991). O gráfico da Figura 10 ilustra bem essa definição, pois, com este gráfico (CCV x consumo de energia em kWh/ano) ilustram-se todas as inovações analisadas em um produto (p. ex. geladeira) entendendo-se que o refrigerador de referência (caso-base da Figura 10) seria o do mercado norte-americano em 1989. Já no ponto 1 analisa-se a implantação da inovação tecnológica 1 (p.ex. um compressor padrão comum no mercado sendo substituído por um compressor mais eficiente, conseguindo assim, um ganho de eficiência no ciclo de refrigeração resultando em economia de energia). Mas, pode ocorrer uma pergunta: Se for inserido um componente (p.ex. compressor mais eficiente) mais caro no refrigerador, o seu valor final irá aumentar? Isto provavelmente é verdadeiro, contudo, fazendo a ACCV chega-se ao resultado que a economia de energia obtida pelo consumidor com a inovação (devido à economia de energia ao longo do ciclo de vida do refrigerador) é superior ao custo devido à inserção do compressor mais eficiente. Desta forma, o CCV do produto reduz compensando o aumento do preço de compra da geladeira. Da mesma forma ocorre no ponto 2 onde poderia ocorrer, por exemplo, além da inserção da inovação tecnológica 1 (p.ex. o compressor mais eficiente), também a inserção da inovação tecnológica 2 (p.ex. a diminuição da perda de calor pela vedação devido, por exemplo, a um novo material ou formato da gaxeta da porta). A junção destas duas inovações possibilitou em um ganho ainda maior de eficiência compensando novamente o aumento de preço ocasionado por elas. Mas, quando se analisa o ponto 9 nota-se que houve um ganho de eficiência superior ao anterior, contudo, desta vez o CCV voltou a subir. Isto se dá, por exemplo, porque ao se acumular algumas das inovações anteriores com a inovação 9 (p.ex. um aumento muito grande da espessura do isolamento nas paredes do refrigerador) ocasionou em um custo de inovação inicialmente superior à economia obtida, embora ainda inferior ao caso-base. Mesmo que o CCV do ponto 9 tivesse sido superior ao do caso-base, dever-se-ia analisar se esse aumento do CCV é recuperado durante a vida útil do equipamento (p.ex. 16 anos do refrigerador). Se isso for verdadeiro, o projeto ainda poderia ser viabilizado, caso isso não ocorresse, se deveria pesquisar novas alternativas (p. ex. pesquisar novos materiais mais baratos e tão eficiente quanto os seus antecessores) para a obtenção do nível desejado de economia de energia etc.

APLICAÇÕES DA ACCV NA ÁREA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL: ESTUDO DE CASO PARA OS REFRIGERADORES POPULARES DO BRASIL

No Brasil os rótulos de eficiência energética são usados de forma voluntária. No ano de 2001 o governo Brasileiro introduziu uma legislação de padrões de mínima eficiência que deverão ser obrigatórios nos próximos anos.

Antes de tudo salienta-se que algumas hipóteses tiveram que ser assumidas de forma a permitir a construção e análise de todos os estágios da metodologia de ACCV. Em alguns casos foi necessário estimar alguns dados não disponíveis. O cenário aqui demonstrado foi baseado nas vendas

de dois fabricantes dos refrigeradores mais populares do Brasil (ambos representam juntos 93% do mercado⁶).

O Manual CLASP (2001) “Energy Efficiency Labels and Standard - a guidebook for appliances, equipment and lighting” apresenta basicamente o procedimento estatístico e a ACCV para o estabelecimento de padrões de eficiência energética.

O procedimento estatístico é uma opção para a análise do nível desejável de padrão. Neste caso, para cada modelo de refrigerador, é traçado o consumo de energia em função do volume ajustado⁷ e, a partir das amostras, é feita uma regressão linear. Para este procedimento recomenda-se usar as possibilidades de melhorias técnicas (inovações tecnológicas) para todo o volume de refrigeradores comercializados, ou pelo menos uma significativa parcela deles, para se estipular o critério/padrão de eficiência energética dos aparelhos.

O outro procedimento é o de ACCV que envolve análises conhecidas da engenharia econômica, impactos ambientais, tanto para os consumidores quanto para a indústria e o país. Neste estudo foi usado o procedimento/metodologia ACCV para criar linhas de economia de energia considerando dois modelos de refrigeradores e suas respectivas inovações tecnológicas. Isto reduziu o número de simulações necessárias para o estabelecimento do critério/padrão de eficiência energética (facilitando a descrição e, portanto o entendimento da metodologia). Uma vez que os dados de custo de produção das inovações tecnológicas não estavam disponíveis, estes foram estimados com base na literatura ou informação da indústria de refrigeradores norte-americana (DOE, 1995).

Portanto, devido à falta de boas informações estatísticas para todos os modelos vendidos no Brasil, o estudo considerou somente dois modelos de refrigeradores (o modelo mais vendido de cada um dos dois principais fabricantes). Estes modelos foram usados para simular um cenário para todo o volume de refrigeradores populares comercializados. A metodologia de ACCV proposta no manual CLASP (2001), IEA (2000) e DOE (1995), foi considerada neste trabalho para avaliar algumas possíveis inovações tecnológicas e seus impactos na economia e no meio ambiente. A escolha da metodologia de ACCV é uma contribuição para a atual discussão de implementação de padrões obrigatórios de eficiência energética no Brasil.

No ano 2002 um total de aproximadamente 325 TWh de eletricidade foi consumido no Brasil. Aproximadamente 46% foi consumido pelo setor industrial e 23% pelo residencial (BEN, 2003). O refrigerador residencial, junto com o chuveiro elétrico, é o equipamento (uso-final) de maior consumo de eletricidade do setor residencial com 30% do consumo residencial – Figura 11 (CHADE, 2004; ELETROPAULO, 2004).

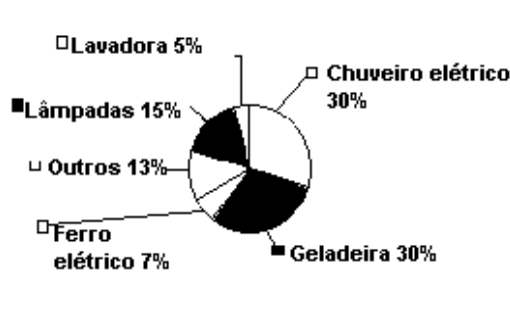


Figura 11 – Setor residencial Brasileiro: consumos médios por uso-final (CHADE, 2004; ELETROPAULO, 2004)

Os refrigeradores mais vendidos no Brasil são os modelos populares destinados à população com menor poder de aquisição. São modelos de uma porta com um congelador (pequeno compartimento de mais baixa temperatura – freezer) dentro do refrigerador. Eles possuem um ciclo de resfriamento simples, onde o evaporador e o condensador operam por convecção natural. Em geral, a maioria destes modelos não possui controles e acessórios complexos, embora, isto esteja mudando com a chegada de novos fabricantes no mercado Brasileiro. O consumo médio de eletricidade destes modelos populares está em torno de 1 kWh por dia.

A Tabela 1 apresenta as principais características analisadas pelo INMETRO dos refrigeradores de uma porta.

⁶ Estatísticas das fatias de mercado (market share) das vendas por modelo de refrigeradores não estão disponíveis no Brasil. Os percentuais apresentados se referem à participação dos fabricantes no total de vendas anuais. Portanto, este artigo assume que o modelo de uma porta (mais popular) de cada fabricante mantém estas proporções para o ano 2000 (Queiroz et al, 2003).

⁷ No caso do modelo de refrigerador analisado: Volume ajustado = Volume do refrigerador + 1.42 Volume do Congelador.

Tabela 1 - refrigeradores de uma porta analisados pelo INMETRO/Selo PROCEL.

Marca	Modelo	VOLUMES			Consumo <i>kWh/mês</i>	Selo PROCEL
		Refrigerador	Congelador	Volume ajustado*		
BOSCH	RB 31	297	00	297	24.5	A
BOSCH	RB 38	367	00	367	27.0	A
BRASTEMP	BRA31A	253	33	300	32.0	C
BRASTEMP	BRA35A	296	33	343	36.0	C
BRASTEMP	BRB35A	329	00	329	36.5	D
BRASTEMP	BRF36A	330	00	330	29.5	A
CCE	R31L	263	30	306	30.0	B
CCE	R32SL	268	30	311	30.0	B
CCE	R26L	224	30	267	32.0	D
BLUE SKY	R31L	263	30	306	30.0	B
HOUSTON	R31L	263	30	306	30.0	B
CONSUL	CRB23B	223	00	223	32.0	F
CONSUL	CRC24B	191	22	222	30.5	F
CONSUL	CRA32A	272	31	316	26.6	A
CONSUL	CRA32B	272	30	315	24.9	A
CONSUL	CRC32A	272	31	316	28.8	A
CONSUL	CRA36A	312	30	355	31.5	A
CONTINENTAL	RC 27	223	29	264	23.7	A
CONTINENTAL	RC 30	257	29	298	27.0	A
CONTINENTAL	RC 37	324	33	371	33.0	A
ELECTROLUX	R250	214	26	251	24.6	B
ELECTROLUX	R280	237	26	274	25.0	A
ELECTROLUX	R310	263	31	307	30.0	B
ELECTROLUX	R330	286	31	330	30.2	A
ELECTROLUX	R360	312	31	356	32.4	A
ESMALTEC	RG3100E	283	27	321	34.8	B
GE	GE310A	263	31	307	30.0	B

Fonte: INMETRO, 2002.

* VA = Refrigerador +1.42 Congelador

É importante reconhecer que existe uma melhoria da eficiência energética desenvolvida de forma autônoma na indústria Brasileira. É possível verificar pela atualização anual do selo PROCEL (classificação A, B e os novos consumos de eletricidade dos modelos de refrigeradores - site www.inmetro.gov.br). O método ACCV apresentado neste trabalho não considera as melhorias autônomas em eficiência energética nos cenários calculados.

Para escolher os modelos de refrigeradores que serão utilizados como referências (casos-base), foram observadas as fatias de mercado (market share) de várias empresas do setor.

Como explicado anteriormente, as informações estatísticas, disponíveis no Brasil em 2001, sugeriam que a empresa fabricante líder no mercado (com 53% das vendas anuais) já incorporava diversas inovações tecnológicas e era bastante eficiente comparada a seus competidores no Brasil (ponto X da Figura 12). A escolha de um refrigerador que já tinha diversas inovações tecnológicas poderia não ser um caso representativo para ilustrar o uso da metodologia ACCV, ou seja, o interessante é estudar inovações que possam abranger a maior parte dos refrigeradores comercializados.

A Figura 12 apresenta os dados do INMETRO (Tabela 1) e os resultados da regressão linear.

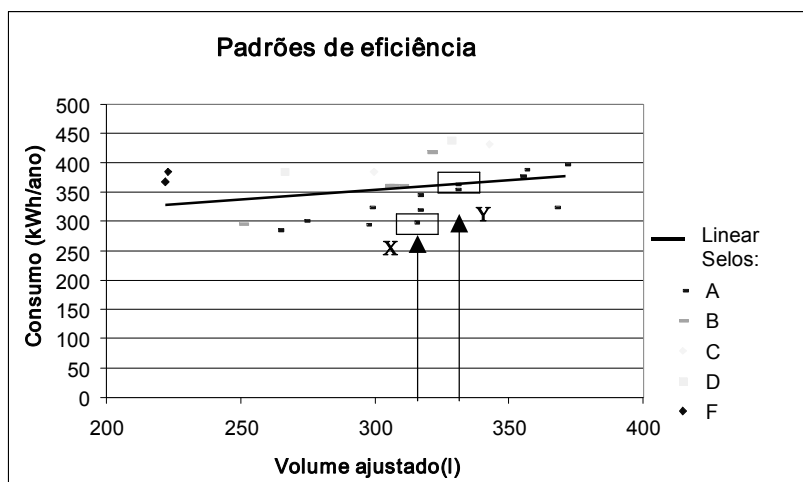


Figura 12 – Regressão Linear dos dados da Tabela 1 do INMETRO (2002).

O segundo maior fabricante de refrigeradores tinha 29% do mercado e era menos eficiente que o líder de mercado (ponto Y da Figura 12). A análise dos modelos destes dois fabricantes permitiu uma melhor ilustração dos impactos das inovações tecnológicas e do método ACCV. O modelo de eficiência média (letra Y da Figura 12 – ponto sobre a curva) é também mais representativo dos refrigeradores Brasileiros de uma porta.

Dois cenários foram criados e apresentados na ACEEE (QUEIROZ et al, 2003). No presente trabalho será dada ênfase no cenário “Caso B” que analisa os dois modelos de refrigeradores relacionando-os com todo o volume de refrigeradores existentes no mercado Brasileiro.

A Tabela 2 descreve os cenários.

Tabela 2 - refrigeradores de uma porta analisados pelo INMETRO/Selo PROCEL.

Inovações	Eficiências alcançadas devido às inovações tecnológicas*		
	Modelo mais eficiente (ponto X da Figura 12)	Cenário A Modelo de eficiência média (ponto Y da Figura 12)	Cenário B Média ponderada**
1	12,1%	20,7%	16,1%
2	3,9%	3,8%	3,9%
3	10,2%	14,1%	12,0%
4	2,9%	2,9%	2,9%
5	8,4%	10,0%	9,2%

* ganhos em eficiência calculados utilizando o software ERA (MERRIAN, VERONE & FENG, nd) da Agência de Proteção Ambiental – EPA dos EUA

** market share de 53% do modelo mais eficiente; market share de 47% do modelo de eficiência média
Fonte: (QUEIROZ et al, 2003)

Segundo QUEIROZ et al (2003), o cenário “Caso B⁸” (53% constituído pelos modelos mais eficientes – ponto X da Figura 12 - e 47% pelos modelos de menor eficiência, ou seja, de eficiência média do mercado no ano 2000 – ponto Y da Figura 12) é considerado um cenário mais realista, uma vez que é baseado numa média ponderada das eficiências possíveis de serem alcançadas e assume que as melhorias sugeridas são aplicáveis com diferentes economias de energia (Tabela 2 – geralmente maiores nos 47% dos modelos de eficiência média existente no mercado e, um pouco menores nos 53% dos modelos mais eficientes). O Caso B também sugere dois estágios/momentos de padrões de eficiência, um primeiro em 2005 e um segundo padrão no ano de 2010.

⁸ Diferente do Caso A que assumia que 100% do mercado era constituído pelos modelos de menor eficiência que a do líder do mercado, ou seja a hipótese era de que todos os refrigeradores da categoria de uma porta vendidos no Brasil eram iguais ao modelo de eficiência média do setor analisado – ponto Y da Figura 12.

ACCV: Análise de Custos, Desempenho e Alternativas Técnicas

Baseados nos dados do INMETRO, de fabricantes e da literatura, foram analisadas algumas simulações de melhorias técnicas (em diversos componentes como ilustra a Figura 13) utilizando o software ERA (MERRIAN, VERONE & FENG, nd) da Agência de Proteção Ambiental – EPA dos EUA. Os refrigeradores Brasileiros usados no Caso B foram os modelos de 330 litros de volume ajustado e 360 kWh/ano de consumo de eletricidade e um modelo de 320-litros de volume ajustado e 320 kWh/ano de consumo de eletricidade.

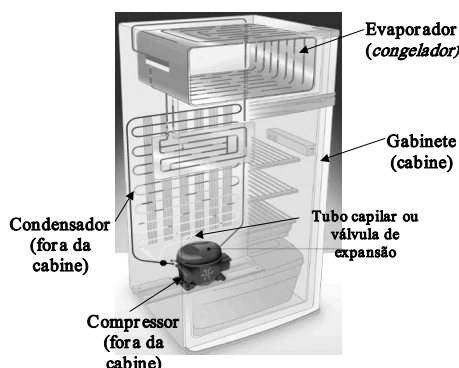


Figura 13 – Componentes principais de um refrigerador (JANNUZZI et al, 2004).

As inovações técnicas analisadas são aquelas apresentadas no ACEEE (QUEIROZ et al, 2003) e estão descritas na Tabela 3.

A Tabela 3 apresenta os resultados das simulações obtidas utilizando o modelo computacional ERA⁹ e os dados de custo disponíveis. O percentual de economias de energia representa os valores médios para os refrigeradores analisados.

Tabela 3 - Eficiência, payback e custo das inovações tecnológicas.

Descrição		% Economias de energia	Payback (anos)	Custos
		Caso B	Caso B	(R\$)
Caso-base (C0)	Selo PROCEL passa a ser compulsório	4.0 %	0	0
Inovação 1 (C1)	Caso base + compressor mais eficiente*	16.1 %	6	60
Inovação 2 (C2)	+ aumento de 1,27 cm na espessura do isolamento térmico da porta**	3.9 %	7	20
Inovação 3 (C3)	+ aumento de 1,27 cm na espessura do isolamento térmico das paredes**	12.0 %	9	67
Inovação 4 (C4)	+ aumento de 1,27 cm na espessura do isolamento térmico da porta (isolação total da porta = 2,54cm)**	2.9 %	10	18
Inovação 5 (C5)	+ aumento de 1,27 cm na espessura do isolamento térmico das paredes (isolação total da porta e das paredes = 2,54cm)**	9.2 %	12	53

Fonte: QUEIROZ et al, 2003.

* compressor mais eficiente – ganho de eficiência no ciclo de refrigeração

** isolamento térmico - o aumento do isolamento reduz a troca de calor com o meio externo e portanto o refrigerador perde menos frio, ou evita a entrada de calor etc.

⁹ O modelo ERA foi adaptado para incorporar, na medida do possível, as características técnicas dos refrigeradores Brasileiros considerados.

ACCV: Resultados

A regressão linear dos dados apresentados na Tabela 1 é dada pela seguinte equação (média dos refrigeradores que se apresentam voluntariamente ao INMETRO):

$$\text{Consumo (KWh/mês)} = 21.1678 + 0.0279 \times \text{volume ajustado (litros)}$$

Esta regressão estatística utilizando os dados do INMETRO pode ser convertida em recomendações de padrões de mínima eficiência energética, como ilustra a Figura 14, apresentada no ACEEE (QUEIROZ et al,2003).

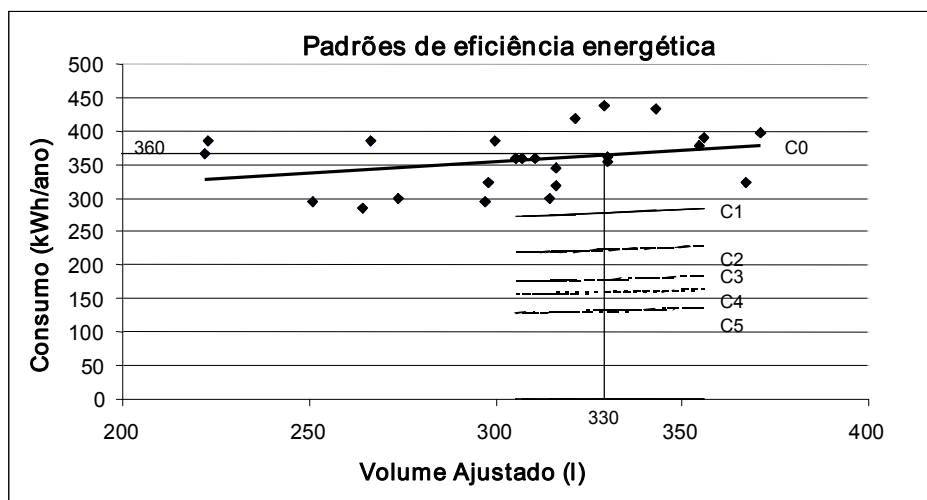


Figura 14 – Regressão Linear dos dados da Tabela 1 do INMETRO e ilustração de possíveis inovações tecnológicas (C1, C2 etc.).

Fonte: QUEIROZ et al, 2003.

Todas as curvas (C1, C2 etc.) são resultados de novas regressões lineares que substituem modelos reais por modelos mais eficientes de acordo com as inovações tecnológicas sugeridas (descritas em C1, C2 etc.) no Caso B (índice de eficiência ponderado entre os dois modelos analisados).

A regressão linear C0, sugere que seja possível alcançar 4%¹⁰ de redução se o selo A do PROCEL passar a ser um padrão obrigatório (todos os modelos menos eficientes – representados pelos pontos acima da curva C0 – seriam forçados a vir para baixo da linha de padrão obrigatório). Observa-se que os modelos analisados estão sobre (modelo menos eficiente que o líder, porém na eficiência média do mercado – ponto Y da Figura 12 que é o modelo de 330 litros de volume ajustado indicado na Figura 14) ou abaixo da linha da regressão C0 (modelo líder que é mais eficiente que a média do mercado – ponto X da Figura 12 com 320 litros de volume ajustado).

De acordo com a metodologia estatística, planejando utilizar os resultados das regressões como recomendação para padrões mínimos de eficiência energética, dever-se-ia desenvolver novas simulações para cada conjunto de inovações técnicas para todos os modelos e, então, fazer uma nova regressão baseada nestes resultados das simulações. Estes cálculos são mostrados nas linhas C1, C2, ..., C5, onde 1,2,...5 representam as inovações apresentadas na Tabela 3.

Para uma análise de Engenharia Econômica, assumindo: o preço de venda de R\$ 699.00 (14 de agosto de 2002) para ambos refrigeradores de 330 e 320 litros, os custos de inovação descritos na Tabela 3, uma taxa de desconto de 12% ao ano, é possível calcular a curva de Payback Period (Figura 15) e construir a curva de análise de engenharia econômica (Figura 16) dos padrões de eficiência energética propostos.

¹⁰ Esta é a média aritmética da redução no consumo de eletricidade de todos os modelos acima da curva de regressão C0. Não foi considerada a participação - *market share* - de cada modelo.

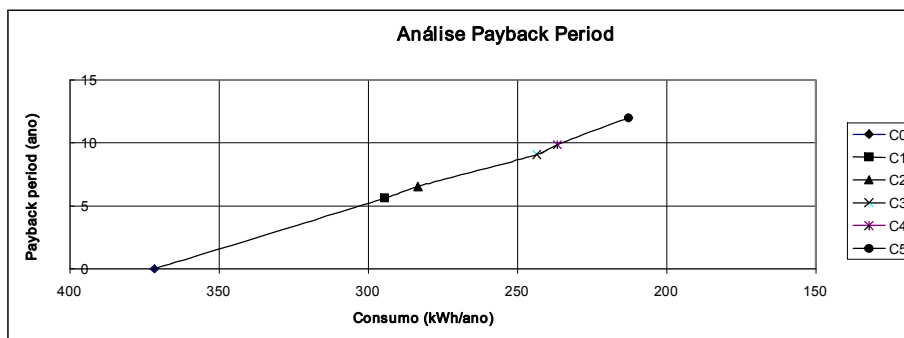


Figura 15 – Análise do período de retorno do investimento (Payback Period).

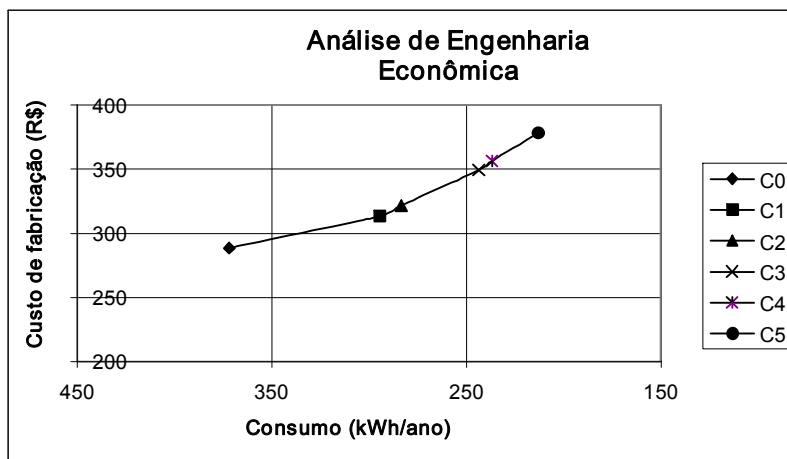


Figura 16 – Análise de Engenharia Econômica.

Como esperado, os custos de fabricação aumentam com a introdução das inovações e suas respectivas reduções no consumo de eletricidade (Figura 15). Quando todas as inovações são consideradas o período de retorno do investimento aumenta para aproximadamente 12 anos, que é alto, mas menor que a vida útil do refrigerador esperada de 16 anos¹¹ (Figura 16).

Para calcular o custo do ciclo de vida (CCV) para o consumidor, assumindo uma vida útil de 16 anos para o refrigerador, uma taxa de desconto de 12%, um fator de 2,42 para o markup Brasileiro (custo para o consumidor dividido pelo custo do refrigerador para o fabricante) e um custo da energia elétrica de 252 R\$/MWh, incluindo os 18%¹² de impostos sobre a tarifa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2002), é possível construir a Figura 17 de CCV para o consumidor:

¹¹ A vida útil dos refrigeradores foi calculada baseada nos estoques e taxa de penetração residencial no Brasil. O valor obtido foi de 16 anos.

¹² Assume-se um imposto médio nacional de 18%, uma vez que existem diferentes impostos estaduais no Brasil.

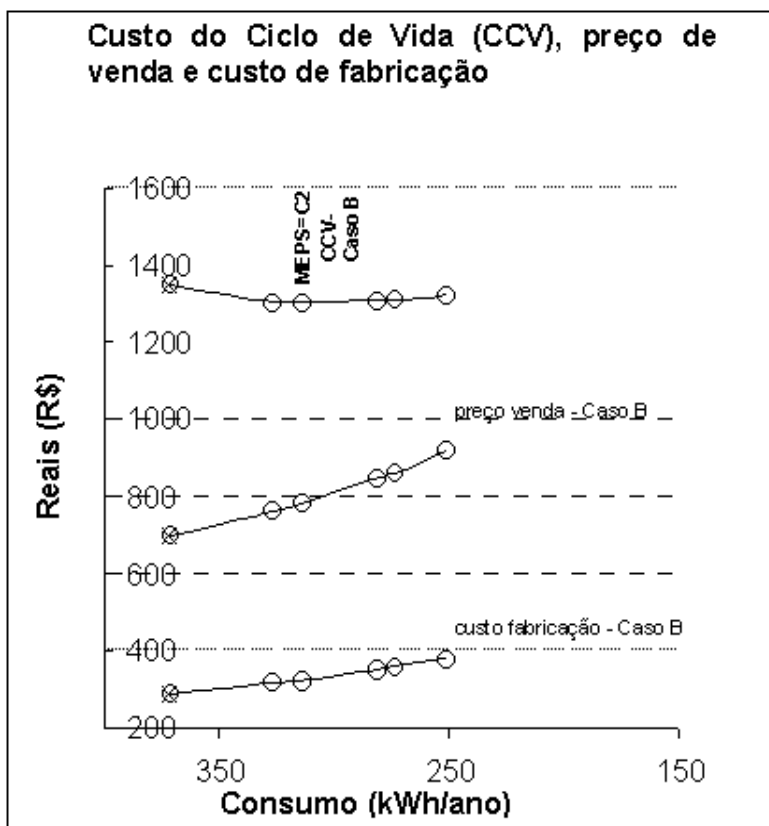


Figura 17 – CCV para o consumidor Brasileiro – Caso B.

A ACCV para o Caso B (Figura 17) desenvolvido em 2001, que considerava os dois modelos de refrigeradores populares Brasileiros de uma porta, sugeria: 24% (MEPS - minimum energy performance standards = C2) para um primeiro padrão em 2005 e, um segundo padrão de 48% para 2010 (assumindo todas as inovações tecnológicas).

A hipótese do Caso B (resultados resumidamente apresentados na Tabela 4) incorpora na análise os 4% obtidos de um padrão obrigatório baseado no existente selo A do PROCEL (inovação C0 na Tabela 2) e 20% das inovações C1 e C2 (Tabela 2), totalizando 3 inovações.

Tabela 4 – Resultados:

Indicadores	Caso B
Normas Compulsórias	24% (primeiro padrão em 2005*) 48% (segundo padrão em 2010*)
Payback Period	7 anos (primeiro padrão) 12 anos (segundo padrão)
Melhorias técnicas - Inovações Tecnológicas	- Primeiro padrão: selo voluntário "A" do PROCEL passa a ser compulsório. Novo compressor e aumento da espessura de isolante térmico na porta e paredes em 1,27 cm. - Segundo padrão: todas as inovações são aplicadas.
Conservação de energia (TWh)	Apenas Primeiro Padrão: 7 (até o ano 2010) e 45 (até o ano 2020) Primeiro e Segundo Padrões: 7 (até o ano 2010) e 65 (até o ano 2020)
Conservação de CO ₂ não-renovável (Gg)	Apenas Primeiro Padrão: 21.570 (período de 2005-2020) Primeiro e Segundo Padrões: 33.759 (período de 2005-2020)
R\$ (em bilhões) economizados na conta de energia elétrica	Apenas Primeiro Padrão: 1,3 (período de 2005-2020) Primeiro e Segundo Padrões: 2 (período de 2005-2020)

Obs.: Assumiu-se um coeficiente de 0,48 kg CO₂/kWh (IPCC – emissões de uma usina termelétrica queimando gás natural). Todos os valores foram calculados em reais (R\$) do ano 2000;(*) comparado com o modelo de refrigerador do ano 2000.

Além dos resultados apresentados na Tabela 4, poder-se-ia negociar aproximadamente 43 bilhões de R\$ em 15 anos de crédito de carbono (MDL de 40 US\$/tCO₂ da área energética), evitar-se-ia a construção de uma Usina, por exemplo, termoelétrica, de aproximadamente 50MW.

CONCLUSÕES

O uso de ferramentas e métodos que simulam o desempenho do refrigerador para propor inovações técnicas e, o uso da ACCV mostra que é possível obter reduções significativas no consumo de eletricidade dos refrigeradores brasileiros.

Os resultados apresentados neste trabalho apresentam importantes dados para subsidiar discussões mais aprofundadas com os fabricantes num processo de estipular padrões de eficiência energética para os refrigeradores Brasileiros.

Este artigo sugere que a eficiência (economias de energia) pode atingir 24% no ano de 2005 se o MEPS for adotado. As melhorias são alcançadas pela implementação de padrão obrigatório (selo "A" do PROCEL) e inovações tecnológicas como compressores mais eficientes e aumento das espessuras do isolamento térmico das paredes e porta (1/2"), todas viáveis economicamente com tempo de retorno do investimento calculado em 7 anos (payback period). No período de 2005-2020 a quantidade de energia economizada poderia atingir 65 TWh, a quantidade de emissão evitada de CO₂ poderia atingir 34.000 Gg e os consumidores Brasileiros poderiam economizar aproximadamente de 2 bilhões de reais nas suas contas de eletricidade.

Quanto à metodologia de ACCV, salienta-se que o processo deve ter base científica sendo, portanto, complexo, porém, possibilitando uma maior compreensão do ciclo de vida de produtos.

Com relação ao MEPS, apesar de existirem outras metodologias, como as estatísticas que não levam em conta os custos, a ACCV permite que se conheça melhor o mercado (custos, capacidades tecnológicas etc.).

E por final, é importante lembrar que o Planejamento Energético Integrado, não só planejando o aumento de oferta, mas também programas do lado da demanda como conservação de energia (emissões, recursos - R\$ etc.), é fundamental pois também contribui com a educação para o consumo sustentável.

REFERÊNCIAS

Lei 10.295/2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Senado Federal, 17/outubro/2001. Decreto 4.059 - Regulamenta a Lei no 10.295. Casa Civil da Presidência da República, 19/dezembro/2001.

QUEIROZ, Guilherme de Castilho, Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), Seminário Internacional Sobre Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida, Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA/ITAL, Campinas, CD-ROM, 2004.

QUEIROZ, Guilherme de Castilho. Uma Metodologia para Tomada de Decisão Combinando Princípios do PIR (Planejamento Integrado de Recursos Energéticos) e Critérios de Estudos de Impactos Ambientais. Tese (doutorado). Campinas (SP): FEM/UNICAMP. 1999. 219p.

CLASP. Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting. Lead authors: Stephen Wiel and James E. McMahon, Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), 205p. February 2001.

FABRYCKY, Wolter J., BLANCHARD, Benjamin S. Life-cycle cost and economic analysis, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1991, pp 384.

QUEIROZ, Guilherme de Castilho; JANNUZZI, Gilberto de Martino; VENDRUSCULO, Edson Adriano; BORGES, Thomaz; POMÍLIO, José Antenor. A life-cycle cost analysis (LCCA) for setting energy-efficiency standards in Brazil: The case of residential refrigerators. In: ACEEE, 2003, New York. ACEEE 2003.

IEA. Energy Labels & Standards: energy efficiency policy profile. International Energy Agency/Org. for Economic Co-operation and Development, 194 pgs, 2000.

BEN. Balanço Energético Nacional – ano base 2002. Disponível na www.mme.gov.br, 2003.

CHADE, Juliana Ferrari. Estudos do Sistema de Gerenciamento pelo Lado da Demanda para Consumidores e Distribuidores de Energia Elétrica, XVI Seminário Nacional de Distribuidores de Energia Elétrica, SENDI 2004, cód. 583, 2004.

ELETROPAULO. Consumo Inteligente na Sua Casa: tudo o que você precisa saber para aproveitar o conforto da energia elétrica de um jeito mais consciente e seguro. Cartilha Educativa, Eletropaulo, XVI Seminário Nacional de Distribuidores de Energia Elétrica, SENDI 2004, 2004, pp 14

INMETRO. Produtos Etiquetados 2001. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. [acesso em 08/agosto/2002] www.inmetro.gov.br/consumidor/prodEtiquetados.asp#pbe.

Merrian, Verone & Feng nd. EPA refrigerator Analysis (ERA) program: User's manual, version 1.2E, Cambridge, Mass: Arthur D. Little, Inc.

Biermayer. Life-Cycle Cost Analysis: Refrigerators. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), IRAM, Buenos Aires, 23 march 2001.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; QUEIROZ, Guilherme de Castilho; VENDRUSCULO, Edson Adriano; MENDES, Nathan; POMÍLIO, José Antenor; SILVA JÚNIOR, Herculano Xavier da. Melhoramento técnico de refrigeradores domésticos no Brasil: análise de eficiência energética. In: CBPE – CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2004, Itajubá. CBPE 2004. 2004. p. 1-11.

ANEEL. Tarifas de energia elétrica. Acesso ao site www.aneel.gov.br em 24/07/2002.

DOE. Technical Support Document: Energy Efficiency Standards for consumer products: Refrigerators, Refrigerators-Freezers, & Freezers. U.S. Department of Energy, 391 p., July 1995.

Agradecimentos:

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro recebido da Fapesp (Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo); International Energy Agency / Climate Technology Initiative e International Energy Iniciativa; Environmental Protection Agency e Collaborative Labeling and Appliance Standards Program.