

3

Análise de Demanda Condicionada

3.1

Introdução

A análise Condicionada da Demanda é uma técnica que quebra o consumo residencial em partes, cada uma associada a um uso final ou a um determinado equipamento em particular. Esta técnica é conhecida na literatura internacional como *Conditional Demand Analysis – CDA* e o primeiro a aplicar este método foi PARTI et al (1980), que propôs quebrar o consumo residencial em suas partes constituintes. Vários autores desenvolveram outras aplicações ao longo da década de 80, para estimação tanto do consumo como da demanda horária de cada uso final, ARCHIBALD et al. (1982), GARBACZ (1983), AIGNER et al. (1984) e STANOVNIK (1987).

Neste modelo, o consumo de energia elétrica residencial é determinado pela composição do estoque de equipamentos e pelo uso final dos equipamentos, ambos podendo ser influenciados pela renda, número de habitantes, tamanho do domicílio, etc. (PARTI et al. 1980 e DUBIN et al. 1984).

ARCHIBALD (1982) dedicou seu estudo à responsabilidade dos equipamentos na variação sazonal do consumo domiciliar. PARTI e AIGNER (1984) centraram sua análise numa base horária, obtendo como importante resultado a contribuição para a demanda de pico de cada equipamento. STANOVNIK (1987) direcionou-se ao uso médio anual de eletricidade. PARTI (1996) estendeu o método CDA para setores não residenciais, avaliando os impactos dos programas de GLD (Gerência pelo lado da demanda) do setor comercial implementados pela *Southern California Edison* em 1994.

De acordo com AIGNER (1984), o sucesso deste método para isolar o consumo de uso final estatisticamente, sem medição direta dos equipamentos, depende crucialmente das diferenças dos padrões de posse dos equipamentos. Por exemplo, se o modelo não faz qualquer distinção entre diferentes tipos de refrigeradores, nem entre os diferentes números de refrigeradores que são possuídos, e se todo mundo tivesse refrigerador, seria impossível isolar o consumo por refrigerador, o consumo só será obtido pelo modelo com uma melhor especificação do modelo.

A primeira aplicação desta técnica no Brasil foi apresentada por LINS et al. (1996), que utilizou dados de posse e consumo de energia de pesquisa realizada pelo PROCEL/ELETROBRÁS em 1988/1989 e publicada no *Annals of Operations Research* identificando as variações regionais de consumo residencial no Brasil (LINS et al. 2003).

De acordo com ARCHIBALD (1982) e STANOVNIK (1987), e contrariamente a BERG (1994), as influências de variáveis sócio-econômicas e climáticas não deveriam ser capturadas diretamente nas equações de regressão, mas em funções de utilidade condicionadas à utilização de um equipamento específico. Um exemplo seria considerar o número de moradores somente na equação de regressão para os domicílios que têm o equipamento, tais como o chuveiro elétrico, cujo consumo depende muito do número de moradores. Uma outra opção para o chuveiro especificamente talvez fosse considerar para este equipamento não a quantidade de unidades instaladas e sim o número de moradores, visto que o uso do mesmo depende diretamente da quantidade de residentes no domicílio.

3.2

Descrição Teórica da Análise Condicionada da Demanda

Na análise da Demanda condicionada, a regressão estatística é utilizada para quebrar o consumo residencial em suas partes constituintes. Neste trabalho discute-se as implicações de se utilizar regressão robusta em contrapartida a regressão clássica, independente dos estimadores (clássicos ou robustos) utilizados, o modelo a ser utilizado pressupõe uma relação estocástica entre as variáveis X e Y, obtida através de regressão linear.

O primeiro modelo proposto é:

$$CE_t = \sum_i \beta_i \cdot X_{it} + \varepsilon_t \quad (3.2.1)$$

que relaciona linearmente o consumo de energia em cada domicílio amostrado t e as posses dos diversos equipamentos elétricos (i), representados por X variáveis aleatórias, onde:

- CE_t é o consumo em kWh no t-ésimo domicílio. Nela foram colocados os valores do consumo da última fatura de cada residência na ocasião da pesquisa.
- X_{it} é a posse do equipamento i no t-ésimo domicílio. A variável X é geralmente *dummy*, embora não exista restrição sobre isto; para lâmpadas por exemplo, X representa uma variável inteira.
- β_i é o coeficiente de regressão que estimará o consumo em kWh do i-ésimo equipamento, ou seja, os coeficientes de regressão podem ser interpretados como o consumo em kWh de cada equipamento. Supõe-se ainda que os coeficientes sejam independentes de classe social, região geográfica ou número de moradores.
- ε_t é o termo de erro aleatório.

Melhorias podem ser feitas no modelo para melhor explicar o consumo residencial. Por exemplo pode-se incluir a renda chegando-se ao modelo a seguir,

$$CE_t = \sum_i \beta_i \cdot X_{it} \cdot nh_t + \varepsilon_t \quad (3.2.2)$$

que é equivalente a explicar o consumo por renda:

$$CE_t / nh_t = \sum_i \beta_i \cdot X_{it} + \varepsilon_t \quad (3.2.3)$$

Pode-se também incluir o número de moradores, chegando-se ao modelo a seguir:

$$CE_t = \sum_i \beta_i \cdot X_{it} \cdot r_t + \varepsilon_t \quad (3.2.4)$$

que é equivalente a explicar o consumo por renda:

$$CE_t / r_t = \sum_i \beta_i \cdot X_{it} + \varepsilon_t \quad (3.2.5)$$

No presente estudo realizaram-se os estudos com base no primeiro modelo proposto (veja equação 3.2.1). Para este trabalho então, o modelo tem como variável independente o consumo médio em kWh referente ao ano de 2004 e como variáveis independentes a quantidade de cada tipo de equipamento presente em cada residência que compõe o espaço amostral. Ressalta-se que uso do modelo se deu via mínimos quadrados ordinários (estimadores clássicos) e via estimadores robustos.

3.3

Utilizações da CDA no mundo

A metodologia Análise Condicionada da Demanda foi utilizada em diversos trabalhos por vários autores. Nesta seção são apresentadas algumas aplicações práticas, com diferentes objetivos, da CDA no mundo.

REDDY (1994) utiliza os dados de uma pesquisa domiciliar *cross-sectional* para estimar o consumo de eletricidade em diferentes usos finais, relacionando as estimativas de consumo e as elasticidades obtidas por equipamento. O autor projetou o mercado futuro para o município de Bangalore (sul da Índia) com esta análise e determinou os impactos do crescimento do parque de cada equipamento sobre o consumo residencial expandido (para o município de Bangalore). Estudou também as participações de cada uso final no consumo total, e fez algumas inferências sobre o potencial de economia em alguns usos finais mais importantes: aquecimento de água e iluminação.

Alguns autores aliaram os métodos de engenharia e CDA. BARTELS et al. (1995) propõem metodologia estatística para selecionar em cada domicílio alguns equipamentos cujo consumo será medido, enquanto os consumos dos demais serão obtidos através de CDA. O método busca maximizar a precisão dos estimadores de consumo. BARTELS et al. (1995), descreve um procedimento de projeto ótimo para determinar quais usos finais devem ser medidos em cada domicílio. O modelo econométrico usado para estimar as curvas de carga de uso final integra uma análise condicionada da demanda com as leituras de usos finais obtidas por medição direta. Já TRAIN (1992), apresenta os modelos SAE (*Statistically Adjusted Engineering*), que exploram a complementaridade dos métodos de engenharia e CDA, utilizando a carga de cada uso final como variável explanatória do modelo CDA para as curvas de carga ao nível do consumidor final. Os coeficientes estimados para estas variáveis ajustam estatisticamente as cargas de engenharia para refletir a carga real total do consumidor final.

Outros autores incorporaram em seus modelos variáveis climáticas. KING et al. (1990) propõe e aplica uma metodologia que combina dados

termodinâmicos (condutância superficial) e climáticos com dados de posse de equipamentos, através de um modelo não linear. O modelo é estimado sobre dados *cross section* pré e pós auditoria de domicílios, o que permitiu estimar economias resultantes de programas de auditoria e climatização.

BUT (1990) mostra como os resultados do modelo PRISM podem ser combinados com CDA para estimar o consumo unitário de energia (UEC) dos principais equipamentos elétricos. Usando contas de energia mensais e bimensais, e dados climáticos, o modelo PRISM foi implementado para estimar o “consumo de eletricidade anual normalizado”, a “carga base” e a “carga com aquecimento ambiental” para cada casa. O estudo utilizou CDA para decompor a carga base nos vários equipamentos principais.

LAFRANCE (1994) utilizou o modelo CDA para extrair o consumo de equipamentos destinados ao condicionamento ambiental de residência e aquecimento de água, utilizando como variável exógena o diferencial de temperatura externa. Analisou uma série temporal de três grandes pesquisas (1979, 1984 e 1989) do setor residencial. O estudo permite tirar algumas conclusões sobre tendências no consumo de eletricidade por uso-final entre 1979 e 1989, por tipo de residência e por categoria de safra de construção.

ARAUJO e SILVA (2005) utilizaram a Análise de Demanda Condicional para estimar o consumo de energia por uso final, a partir de uma amostra de 600 domicílios do município de Recife. A diferença deste trabalho em relação a outros é que, ao invés de utilizarem o método tradicional de regressão linear, realizaram o estudo através de regressão robusta, que vem a ser uma regressão linear via estimadores robustos.