

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM MODELO PARA PROJEÇÃO DE DEMANDA RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM CENTROS URBANOS

David Montero Dias¹

Carlos Barreira Martinez²

Marcelo Libânio³

RESUMO

Conhecer os mecanismos de consumo de energia elétrica torna-se indispensável para que o processo de planejamento e gestão do suprimento se dê maneira eficiente. Este trabalho apresenta um modelo que representa o comportamento do consumo residencial urbano de energia elétrica dentro de micro regiões delimitadas pelas áreas de atuação de agências operacionais de concessionárias distribuidoras. O modelo tem como premissa utilizar a base física espacial de bairros e regionais, além de indicadores socioeconômicos das populações consumidoras. O mesmo constitui-se ainda em uma ferramenta que permite projetar demandas futuras para grandes regiões metropolitanas. Para se chegar a um resultado fundamentado nas condições acima citadas, efetuaram-se comparações entre os consumos per capita de energia elétrica e rendas per capita médias das populações residentes dentro dos limites de cada agência operacional da concessionária. Dessa forma, obtiveram-se pares de dados consumo versus renda, para todas as agências, mensalmente, abrangendo o universo de dados disponíveis. Procedeu-se à análise de cada faixa socioeconômica da população, no sentido de que indicadores médios relativos a essas referidas classes fossem determinados de modo a permitir projetar o consumo futuro, a partir do modelo em questão. Para tanto, elegeram-se duas capitais estaduais, Belo Horizonte e Porto Alegre. Tal escolha baseou-se no fato dessas cida-

1 Centro de Pesquisas Hidráulicas, Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP 31.270-901. E-mail: david.dias@ibge.gov.br

2 Professor Associado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos - UFMG. Email: martinez@cce.ufmg.br

3 Professor Associado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos - UFMG



des disporem de um banco de dados compatível com as necessidades do modelo proposto. Na primeira capital, Belo Horizonte, constituiu-se uma amostra de dados para análise e elaboração do modelo. Em seguida, fez-se a validação das equações utilizando-se a realidade do município de Porto Alegre. A fim de que o ajuste de equações viesse a ser representativo, escolheram-se regiões urbanas do município de Belo Horizonte, baseadas na divisão existente dentro da administração local. Em seguida, compatibilizaram-se geograficamente as 11 agências operacionais da CEMIG com as respectivas regionais administrativas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, levando-se em conta suas economias, nas categorias residenciais de consumo. Considerando-se o cunho observacional do trabalho, os dados de consumos medidos da CEMIG (energia elétrica) foram também compatibilizados espacialmente, para efeito das análises regionalizadas, aos dados do IBGE, agregados segundo cada agência operacional, visando a caracterização socioeconômica de cada uma das regiões. Indicadores como renda per capita, área, quantitativo de economias, população residente e média de habitantes por domicílio foram apurados para se compor os painéis comparativos. A metodologia propõe ainda que a escolha da melhor função para representação dos consumos seja feita a partir da aderência de curvas obtidas por regressões, nas quais se analisa a dispersão dos pontos existentes. Utilizando-se do conjunto de equações obtidas, cenários futuros com suas respectivas distribuições de populações dentre as diversas classes socioeconômicas podem ser estipulados, tornando-se possível prever os impactos no consumo de energia elétrica, caso haja qualquer alteração na pirâmide de rendimentos da população. Os resultados intermediários indicaram também intrínseca relação entre os níveis de consumo e os indicadores socioeconômicos das populações, além de fornecer dados que podem auxiliar na implantação de programas e campanhas de uso eficiente dos insumos nas regiões estudadas. Ao final do trabalho, um estudo de caso foi realizado, com fins de validação do modelo obtido. Além da própria Belo Horizonte, a capital Porto Alegre teve seus consumos de energia elétrica, calculados por meio do modelo de projeção, confrontados com os consumos reais, informados pelas concessionárias distribuidoras que operam em tais municípios. Os resultados mostram satisfatória validade do modelo, quando se projetam consumos para distintas realidades.

Palavras-chave: Consumo per capita de energia elétrica, Consumo residencial de energia elétrica, Planejamento energético, Projeção de demanda, Renda per capita.



ABSTRACT

A good knowledge about the mechanisms of energy consumption is indispensable for an efficient supply planning and management. This paper presents a model that represents the behavior of urban residential consumption of electricity within micro regions bounded by the operational areas of the electricity utility companies. The model foundation is based on using the physical basis of spatial and regional districts, and socioeconomic indicators of consumer populations. Also, it could be used as a tool that allows predict future demands for large metropolitan areas. To get a result based on conditions mentioned above, comparisons were conducted between the per capita consumption of electricity and average per capita incomes of populations living within the boundaries of each operational areas in the city. Thus, pairs of data consumption vs. income were obtained for all agencies on a monthly basis, covering the universe of data available. For this, two state capitals were elected, Belo Horizonte and Porto Alegre. This choice was based on the fact that these cities have their database available and compatible with the needs of the proposed model. In the first capital, Belo Horizonte, a sample of data was used for elaboration of the model. Afterwards, the validation of equations was performed using the reality of the city of Porto Alegre. Accounting for the of work observational nature, the consumption database measured by CEMIG (electricity) were matched spatially with the IBGE database (socioeconomic), aggregated according to each operational area. Indicators such as per capita income, area, population and average population per household were calculated to compose the panels comparison. The methodology also proposes that the choice of best representation of the consumption function can be made from the adjusting of the curves obtained by regression, in which were analyzed the dispersions of the existing points. Using the set of equations obtained, future scenarios with their respective population distributions among the various socioeconomic classes can be set, making it possible to predict the impact on energy consumption in case of any change in the population income pyramid. The intermediate results indicate also an intrinsic relationship between the levels of consumption and socioeconomic indicators of populations and provide data that can help programs and campaigns for efficient use of energy in the selected areas. At the end of work, a case study was performed with the purpose of validating the model obtained. Furthermore, Belo Horizonte and Porto Alegre had their consumption of



electricity calculated using the projection model and compared with the actual consumption, informed by the electricity utility companies. The results indicated satisfactory application of the model, by projecting consumption of household energy in different situations.

Keywords: per capita electricity consumption, residential electricity consumption, energetic planning, demand projection, per capita income.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica do Brasil vem sendo objeto de estudo por parte de vários pesquisadores, como os citados na contextualização a seguir. Observando-se tais estudos, nota-se clara relação entre os níveis dos consumos de energia elétrica e o desenvolvimento econômico das populações. Diante dessa realidade, o planejamento energético torna-se fundamental para assegurar a continuidade da evolução socioeconômica e o abastecimento contínuo de energia de forma universal para toda a sociedade, conforme atesta Marreco, 2007. Desta forma, permite-se inferir que a ausência de adequado planejamento pode acarretar operações ineficientes, resultando em custos elevados, capacidades ociosas ou até mesmo racionamentos.

Este trabalho vai ao encontro do conhecimento dos mecanismos que regem os consumos dos insumos energia elétrica e água em centros urbanos. Esse entendimento torna-se primordial para o planejamento energético das regiões metropolitanas. Para tanto, esta pesquisa versa sobre a projeção da demanda dos insumos em questão, buscando o levantamento das necessidades futuras por parte das populações.

Os atuais e principais trabalhos desenvolvidos nessa área, que abordam a realidade brasileira, são decorrentes de teses e dissertações publicadas em algumas universidades nacionais. Em Achão (2009), analisou-se a decomposição das variações no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro. Como contribuição, esse autor apresentou análises que investigaram desigualdades regionais e o acesso à energia elétrica pelas famílias e seus domicílios nas regiões brasileiras. Por sua vez, Araújo (2007) optou em abordar questões relacionadas às perdas e à inadimplência na atividade de distribuição de energia elétrica no Brasil. Seu trabalho buscou identificar as principais variáveis que pudessem explicar as diferenças de intensidade entre os níveis de inadimplência, propondo modelos expli-



cativos para o fato. As regressões realizadas apontaram para um modelo que explica em mais de 50% as causas da inadimplência, estabelecendo a tarifa média, a taxa de indigência e a urbanização como principais fatores intervenientes. Aspectos sobre o custo marginal e o déficit de energia elétrica foram mais tarde estudados por Loureiro (2009). Em seu trabalho, Loureiro propõe nova metodologia para se calcular o custo marginal dos déficits de energia a fim de otimizar recursos no planejamento da operação energética. A pesquisa baseia-se em valores do PIB e de consumo de energia elétrica, base mensal, no período de 1995 a 2007, mostrando como se comportaram historicamente tais variáveis e suas respectivas correlações.

Recente pesquisa desenvolvida por Marins (2010) teve como objeto o desenvolvimento de uma metodologia para o planejamento energético nas áreas urbanas. Para tanto, procurou empregar conhecimentos relacionados ao gerenciamento da demanda de energia elétrica em regiões metropolitanas. Ainda, neste momento, pode-se referenciar ainda o trabalho feito por Delgado (2003), no qual a expansão da oferta de energia elétrica pela racionalidade do mercado competitivo é pesquisada, com objetivo de se verificar se a tendência de expansão, pela ótica do mercado, poderia garantir uma modicidade tarifária aos consumidores. Corroborando a iniciativa de se pesquisar modelos de previsão de consumo de água a fim de se alcançar regras operacionais mais eficientes, Borges (2004) demonstrou que, com a implementação dos modelos de previsão no sistema adutor metropolitano de São Paulo foi possível reduzir o custo com energia elétrica, otimizando-se os bombeamentos em horários de maior demanda.

Por fim, ressalta-se como de interesse de pesquisadores que atuam em planejamento energético, a possibilidade de se conservar energia por meio da racionalização do uso urbano da água. Tal possibilidade é defendida por Pompermayer (1996). Nesse sentido, Pompermayer utilizou-se de modelos de regressão os quais se basearam em séries temporais e espaciais de alguns municípios do estado de São Paulo. Resultados mostraram que a energia elétrica consumida para fins de abastecimento domiciliar equivale a 13% de todo o consumo residencial de eletricidade. Discutiu também as relações estruturais entre as demanda de água e de energia elétrica, além de influências dos fatores sócio-econômicos, climáticos e demográficos.



2. JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO

O processo de concentração urbana brasileiro foi responsável por fazer com que quase 85% população do País resida em cidades, segundo o IBGE (2011). Esse fenômeno de crescimento da população urbana provocou, ao longo do século 20, uma pressão bastante significativa em diversos setores da economia nacional, em especial nos serviços de distribuição de energia elétrica e abastecimento de água. Aliado a isso, a partir da década de 2000, juntamente com a estabilidade econômica, o País passou a apresentar um crescimento do Produto Interno Bruto positivo que resultou em um aumento da renda de parcelas da população. Essa nova distribuição socioeconômica representou elevações da demanda por diversos produtos que passaram a ser consumidos em diferentes escalas. Segundo Oliveira *et. al.* (2008), atualmente percebe-se significativa transferência de renda não somente entre classes sociais, como também entre categorias de consumo. Sabe-se que as populações apresentam comportamentos de consumo que variam de acordo com suas rendas familiares e que tais comportamentos podem vir a ser representados por meio de modelos matemáticos que mostram os impactos nas demandas de cada tipo de insumo ou bem, em funções de variáveis explicativas. O crescimento da demanda pode ser suprido de diversas formas, passando pelo aumento de produção ou a importação de produtos. Entretanto, insumos como energia elétrica e água são fornecidos por empresas concessionárias e estas, para cumprirem suas missões, necessitam de expressivos investimentos em infra-estrutura de suas redes de distribuição. Para que tais investimentos sejam corretamente aplicados torna-se necessário projetar adequadamente o crescimento futuro das demandas de energia elétrica e água.

Remota do final da década de 90, estudo realizado por Canavarro (1998) onde se evidenciou a necessidade do uso de uma metodologia para assegurar dados de consumos reais que pudessem subsidiar a elaboração de planejamento energético para mesoregiões. Na ocasião, Canavarro contribuiu com matrizes de consumos e intensidades energéticas das regiões estudadas. Ressalta-se que antes do ano de 2000, poucas eram as disponibilidades de dados estruturados de consumo por parte das concessionárias distribuidoras. Ainda no final dos anos 90, Cursino (1998) analisou o consumo de energia e as perspectivas da demanda residencial de eletricidade, porém somente para o estado de Rondônia. Cursino, após realizar suas investigações, propôs um modelo no qual se considera variáveis como o



número de residências, nível de penetração do uso final, número de horas por serviço de energia e intensidade (potência) do uso final. Na ocasião, o próprio autor argumenta sobre o difícil processo de aquisição das variáveis a serem baseadas em considerações demográficas específicas.

Em período mais recente, Carvalho (2005) criticou o planejamento energético de longo prazo realizado no País, apontando no sentido de uma melhor integração entre as atividades de planejamento e os mercados de energia. A contribuição veio por meio da montagem de cenários para a projeção de demanda de energia elétrica do estado da Bahia. Trabalhos voltados à prospecção do mercado de energia foram desenvolvidos por Leite (2006) visando avaliar programas de eficiência energética implementados na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Como impacto na demanda energética, o autor estima novos consumos por meio de um modelo desenvolvido especificamente para região em estudo.

A fim de subsidiar gestores na priorização de suas ações voltadas à eficiência energética, Morales (2007) utilizou indicadores para caracterizar unidades consumidoras de energia elétrica em 48 instalações da cidade universitária da Universidade de São Paulo. A metodologia empregada por Morales visou propiciar conhecimento dos potenciais de redução de consumo aos gestores do *campus*. Ao final do trabalho, Morales estabeleceu as principais características dos usuários de energia elétrica naquela oportunidade.

A heterogeneidade da economia brasileira faz com que existam diversos padrões de consumo residencial de energia elétrica. Nesse sentido, o trabalho de Gomes (2010) estimou as elasticidades-preço e renda da demanda residencial de energia elétrica no Brasil utilizando-se de dados de um painel formado por 63 distribuidoras nacionais de energia, considerando-se as tarifas médias praticadas. Outra iniciativa que visou modelar recursos energéticos, sob o ponto de vista da demanda, foi proposta por Baitelo (2006). Na ocasião, Baitelo (2006) procurou abranger medidas de gerenciamento da demanda e conservação energética dentro de 4 dimensões: técnico-econômica, ambiental, social e política, que resultaram na aplicação de um estudo piloto na região de Araçatuba, SP para o Planejamento Integrado de Recursos. Heringer (2010) analisou em sua pesquisa a projeção do mercado de energia elétrica no Brasil, baseando-se em premissas de crescimento econômico e demográfico. Heringer retrata a realidade do consumo de energia elétrica no Brasil, mostrando também as elasticida-



des da eletricidade em função da variação do PIB. De natureza empírica, a pesquisa desenvolvida por Castro e Montini (2010) visou trazer uma contribuição para modelar a projeção do consumo residencial de energia elétrica no Brasil utilizando-se 84 observações mensais, excluindo-se o efeito do racionamento de energia ocorrido no ano de 2001. Nesse trabalho Castro e Montini confirmam a teoria de que a demanda é influenciada pela tarifa média e pela renda da população.

Nos estudos de Leite & Bajay (2007) torna-se evidenciada a eminente necessidade de se pesquisar hábitos e consumos, ampliando o conhecimento sobre a demanda energética da população brasileira. Corroborando esse entendimento artigo publicado por Camargo (2007), no qual se afirma que o conhecimento do mecanismo de demanda é indispensável para se garantir o fornecimento futuro de energia, uma vez que obras de expansão e crescimento das redes distribuidoras devem acompanhar tais previsões. Melo e Pinheiro (2007) concluíram ainda que, no caso da eletricidade, a redução do déficit habitacional, além do crescimento populacional, poderá justificar aumentos expressivos no consumo urbano de energia elétrica.

A principal motivação deste trabalho ocorre em um momento no qual a população brasileira começa a sofrer modificações em sua estrutura socioeconômica, a partir do ano de 2000, consequência de programas de distribuição de renda por parte do governo que leva a alterações nos rendimentos *per capita* dos consumidores. Diante dessa realidade, surge a preocupação em se garantir a infra-estrutura necessária ao atendimento das futuras demandas. Para tanto, torna-se indispensável estimar os consumos futuros de acordo com cenários econômicos projetados. Portanto, nesta pesquisa, pretendeu-se alcançar a determinação de um modelo explicativo para o consumo de energia elétrica, segundo cenários socioeconômicos estabelecidos. O modelo obtido definirá e comprovará a correlação entre renda e consumo de energia elétrica, além de mostrar que é possível projetar futuras demandas, dentro das proporções indicadas por suas funções, segundo um cenário de distribuição populacional em termos de seu tamanho, suas classes socioeconômicas, ou de seus rendimentos.

Acredita-se assim que, o modelo alcançado possa ser utilizado de forma prática como subsídio e ferramenta para que as concessionárias e distribuidoras gerenciem e dimensionem eficientemente suas redes de serviços de distribuição, viabilizando-se também um melhor planejamento energético. Além disso, esperam-se melhores estimativas de investimentos

em infra-estrutura, para acompanhar o crescimento econômico, respeitando-se as metas de universalização da cobertura dos serviços, sem que haja restrições ou colapsos provocados por insuficiências nas topologias das redes de distribuição. Assim, decidiu-se aplicar modelagem utilizando-se da técnica de *Data Mining*⁴, a qual tem como axioma o desenvolvimento de modelos que mostrem resultados baseados apenas na representatividade de que seus próprios dados refletem.

Diante do exposto, este trabalho visa contribuir oferecendo uma metodologia para modelar os consumos residenciais de energia elétrica em centros urbanos brasileiros, utilizando-se para tal de dados relativos à realidade socioeconômica contemporânea encontrada no município de Belo Horizonte.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada, que visou o desenvolvimento de um modelo para o planejamento energético, surge como inovação, uma vez que emprega o cruzamento de microdados advindos de pesquisas socioeconômicas conjunturais aos dados de consumo de energia elétrica de microregiões específicas dentro de um município escolhido de forma mais contemporânea possível. Parte da metodologia utilizada nesta pesquisa adveio do trabalho realizado por Dias (2008, 2010), no qual se faz a aplicação de microdados de pesquisas conjunturais na análise de sistemas de abastecimento urbano.

O tratamento dos dados socioeconômicos consistiu, a partir do arquivo mensal de microdados do IBGE, em proceder à entrada das informações ao *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) empregando uma rotina desenvolvida para tal. Assim, foram lidas do arquivo original de microdados apenas as variáveis pertinentes ao foco deste trabalho, procedendo-se à seleção, agregação dos dados de interesse e cálculo dos indicadores para cada região abordada. A aquisição dos dados e indicadores socioeconômicos foi obtida pela utilização da pesquisa conjuntural denominada PME (Pesquisa Mensal do Emprego), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na qual se afere de forma mensal a evolução do emprego e renda nas principais regiões metropolitanas brasileiras.

4 Técnica de mineração de dados, na qual se coletam massas de dados para posterior análise e tratamento.



Os indicadores socioeconômicos foram na seqüência agregados segundo as mesoregiões equivalentes (PMBH, 2007) às jurisdições das agências operacionais da concessionária CEMIG, conforme mostra a Figura 1. No caso específico deste trabalho, o modelo de projeção de consumo residencial urbano de energia elétrica baseou-se na renda e na classificação econômica da população estudada. Para cada classe econômica foi encontrado um consumo *per capita* típico. Funções foram ajustadas por meio de regressões e agrupamentos foram destacados segundo os rendimentos *per capita* com propósito de se representar a distribuição dos consumos entre as diversas classes econômicas.

Os dados de consumos históricos de energia elétrica foram obtidos perante as concessionárias de distribuição que operam nos municípios de Belo Horizonte e Porto Alegre. Foram utilizados dados de consumos agrupados por agências operacionais no período de janeiro de 2002 a abril de 2009 em cada município objeto do estudo.

Em relação à especificação das variáveis e a fim de melhor estruturar o acompanhamento das análises feitas por meio das diversas confrontações de dados e alcançar a melhor correlação possível, procedeu-se às comparações na ordem em que estão expostas, conforme mostra a Tabela 1, a seguir. As rendas deflacionadas levaram em conta a evolução das tarifas vigentes ao longo do período observado, no sentido de compatibilizar a evolução das rendas ao real poder de compra dos consumidores. Em cada agência operacional, os rendimentos médios foram deflacionados segundo os índices de reajuste autorizado, todas às vezes nas quais se observavam a ocorrência dos mesmos. Desta forma o termo *renda deflacionada* refere-se ao valor auferido pela população, já descontados os aumentos relativos da tarifa residencial de energia elétrica, acumulados desde o período inicial do histórico de dados.



Figura 1 – Mapa do município de Belo Horizonte e a compatibilização espacial entre agências operacionais e regionais abordadas nesta pesquisa

Tabela 1 - Regressões realizadas

Variáveis explicativas	Variáveis dependentes
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo residencial <i>per capita</i>
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo residencial total
Renda <i>per capita</i> absoluta	Consumo residencial <i>per capita</i>

Cabe ressaltar ainda que, em toda a bibliografia pesquisada, dentro dos principais centros de pesquisa nacionais voltados ao planejamento energético (NIPE/FEM-UNICAMP⁵, COPPE/PPE-UFRJ⁶ e PPGEE/GEPEA-USP⁷), não se encontrou metodologia semelhante para a estimação futura de consumos de energia elétrica.

4. PROPOSIÇÃO DO MODELO E RESULTADOS

A fim de se avaliar o comportamento histórico dos consumos, o gráfico da Figura 2 foi construído, utilizando-se dos dados obtidos para os consumos domésticos de energia elétrica em Belo Horizonte, utilizando-se da fonte básica de dados informada pela CEMIG (2009). Em se tratando da evolução do consumo residencial de energia elétrica, Belo Horizonte não mostra tendência significativa de acréscimo ou decréscimo da potência consumida. A Figura 2 evidencia o comportamento histórico desse consumo no período estudado, onde uma leve queda na média mensal do consumo é registrada pela reta ajustada, mas praticamente mantêm-se em torno dos 115.000.000 KWh mensais.

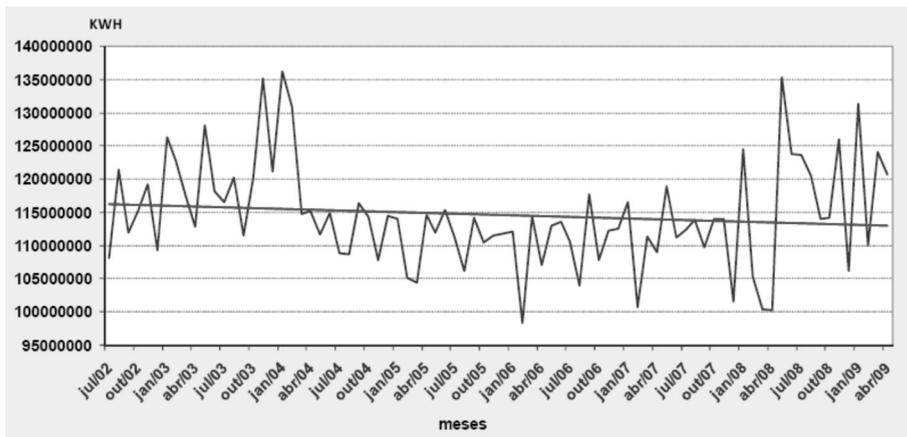


Figura 2 – Evolução histórica do consumo mensal residencial total de energia elétrica em Belo Horizonte

5 NIPE/FEM-UNICAMP. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas

6 COPPE/PPE-UFRJ. Programa de Planejamento Energético da Coordenação de Pós-Graduação e Pesquisa Interdisciplinar em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

7 PPGEE/GEPEA-USP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Grupo de Energia do Departamento de Energia e Automação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Quando se parte para uma análise adimensional, considera-se cada valor dividindo-se o consumo nominal pelo consumo médio observado. Assim, a amplitude dos picos de consumo, máximos e mínimos, também podem ser avaliada. O consumo médio passa a ser representado pelo valor adimensional 1 (hum) e os picos de máximos e mínimos mostram o percentual de variação em relação ao consumo médio. A observação da Figura 3 permite afirmar que não se percebe tendências de redução ou aumento dos picos de consumo, uma vez que os máximos são aproximadamente de 10 a 15% maiores em relação à média e os picos de mínimos encontram-se, aproximadamente, de 5 a 10% menores que a média representada pela reta. Característica que não se torna claramente evidente na Figura 3 é a influência sazonal da estação climática no consumo residencial de energia elétrica. Pode-se afirmar, portanto que, não há influência aparente na oscilação do consumo causada por questões meramente associadas ao clima. Outros fatores, que não se encontram abordados nessa investigação, devem ser responsáveis pelos picos de máximo e mínimo. A partir da evolução populacional, possibilitou-se proceder ao cálculo do consumo *per capita* medido, incluindo somente a categoria residencial, segundo cada agência operacional da CEMIG e seus bairros correspondentes. Quando a análise se volta ao histórico evolutivo de consumos segregados pelas agências operacionais de Belo Horizonte, percebe-se que as oscilações ocorrem de forma similar em todas as séries de dados.

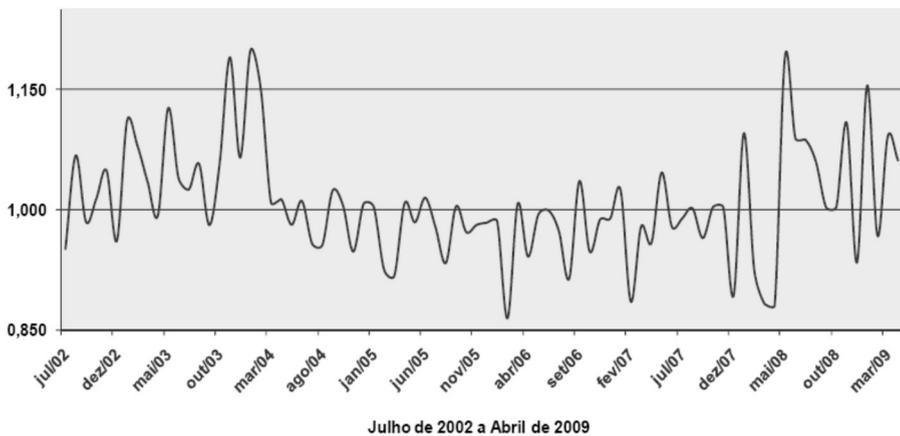


Figura 3 – Evolução histórica do consumo mensal residencial total de energia elétrica em Belo Horizonte, em valores adimensionalizados

Esse comportamento sugere que os efeitos causadores das referidas oscilações são intervenientes, de mesma maneira, em todas as áreas de Belo Horizonte, não existindo portanto fatores sazonais com diferenciações entre as regiões da capital, como pode ser visto pela harmonização comportamental das curvas da Figura 4, também elaborada a partir de dados básicos da CEMIG(2009).

Dando seqüência ao processo analítico do comportamento temporal das variáveis, passou-se a considerar o poder de compra de energia elétrica por parte da população. Desta feita, os rendimentos *per capita* foram recalculados para que refletissem seu real valor em relação ao custo da energia, ou seja, deflacionados de acordo com a inflação verificada nas tarifas de energia praticadas pela CEMIG. Índices médios de deflação a serem aplicados nos rendimentos *per capita* foram calculados a partir da ponderação entre as evoluções e participações relativas da tarifas sociais e tarifa comum na diversas micro-regiões analisadas. A evolução da renda *per capita* deflacionada ficou demonstrada, conforme gráfico da Figura 5. Ao se aplicar os índices deflatores, percebeu-se que os rendimentos *per capita* relativos às agências operacionais obtiveram de fato um ganho bem mais modesto, se comparados à evolução nominal da renda durante o período estudado.

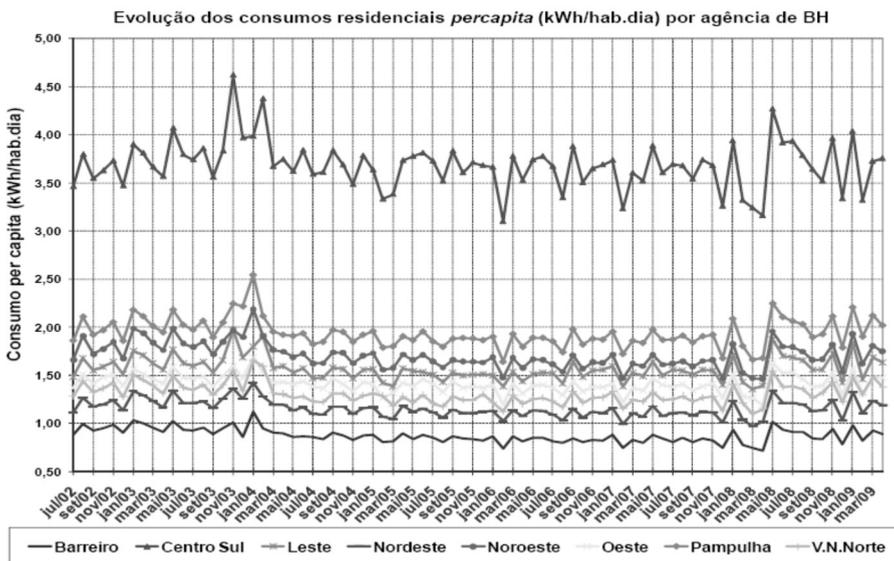


Figura 4 – Gráfico da evolução dos consumos residenciais per capita de energia elétrica, segundo agências operacionais da CEMIG, em Belo Horizonte

Durante o período analisado, nas camadas socioeconômicas inferiores, como os presentes nas agências Barreiro, Venda Nova/Norte e Noroeste, registraram-se ganhos relativos nos rendimentos girando aproximadamente em torno de 55% a 80%, isso, se considerado o reajuste tarifário da energia elétrica. Já nas agências mais favorecidas economicamente, os ganhos relativos de rendimento *per capita* se manifestaram somente depois de janeiro do ano de 2008, ficando em torno de aproximadamente 40%.

Os resultados acima permitem afirmar que, em se tratando do insumo energia elétrica, em Belo Horizonte, durante o período observado de julho de 2002 a abril 2009, as classes sociais mais elevadas tiveram seu poder de compra de energia aumentado em menor proporção que o aumento verificado nas classes sociais menos favorecidas. Em outras palavras, os mais ricos passaram a poder comprar menos energia em relação à população mais pobre, ou seja, caso se considerasse apenas a componente energia elétrica como item de consumo, a desigualdade do poder de compra da população teria diminuído em Belo Horizonte.

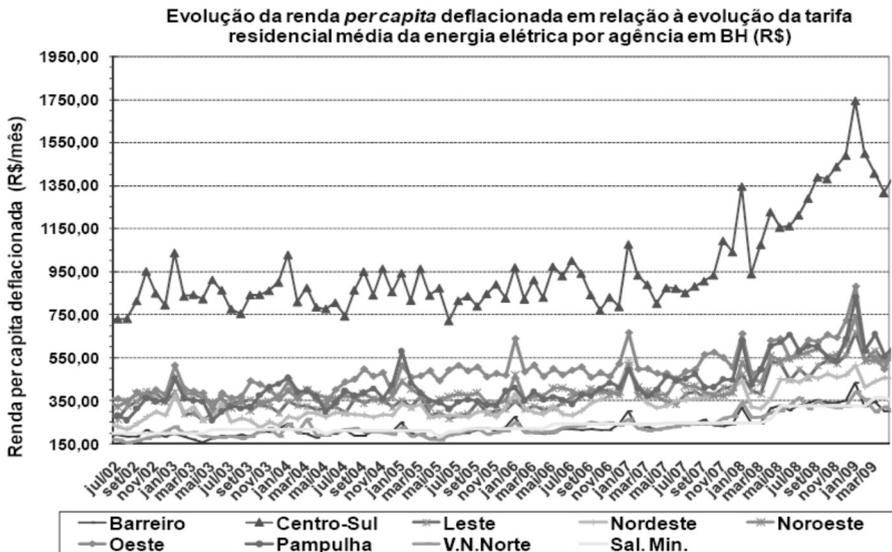


Figura 5 – Gráfico da evolução dos rendimentos per capita deflacionados, segundo regiões das agências operacionais da CEMIG

A partir da análise da Figura 6, pode-se afirmar, em termos generalizados, que o consumo residencial de energia elétrica pode ser conseqüentemente representado pela seguinte Equação (1), aplicando-se a mesma em cada faixa socioeconômica estratificada de uma determinada população urbana.

kWh/hab.dia

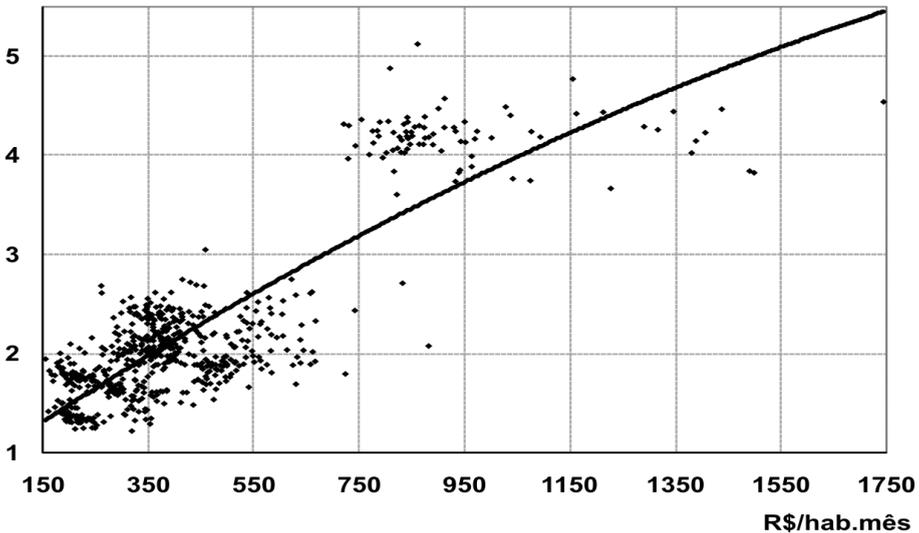


Figura 6 – Dispersão de pontos renda per capita versus consumo per capita de energia elétrica em Belo Horizonte

$$Y = -0,0000005 x^2 + 0,0036 x + 0,2755 \quad (1)$$

na qual,

Y = Consumo diário de energia per capita (kWh/hab.dia).

x = Renda per capita mensal (R\$/mês).

Assim, espera-se calcular o consumo residencial total de energia elétrica de uma região urbana, a partir da seguinte equação:

$$C = \sum_{i=1}^n P_i * (-0,0000005 x_i^2 + 0,0036 x_i + 0,2755) \quad (2)$$

na qual,

C = Quantitativo consumido total de energia elétrica por dia (kWh/dia).

x = Renda per capita mensal média do extrato socioeconômico arbitrado (R\$/mês).

P = População existente para cada extrato socioeconômico arbitrado.

Sendo i = quantidade de faixas socioeconômicas arbitradas, variando de 1 a n .

Logo, pode-se calcular parcela do consumo referente a cada uma das classes socioeconômicas, atribuindo-se a cada delas o peso relativo decorrente do total de habitantes pertencentes a cada uma das referidas classes.

5. VALIDAÇÃO DO MODELO

Com objetivo de se avaliar a consistência da metodologia desenvolvida nesta pesquisa, pretendeu-se comparar o consumo total medido pela CEMIG (Belo Horizonte) e pela C-EEE (Porto Alegre), incluindo todas as agências operacionais, com o consumo virtual calculado por meio do modelo mostrado pela Equação 2. A validação do modelo foi testada portanto a partir da comparação entre o consumo total obtido matematicamente pelo modelo e o consumo físico total medido e informado pelas citadas concessionárias.

Desta forma, multiplicando-se os habitantes existentes em cada classe social pela renda média *per capita* obtida para as mesmas classes, afere-se a parcela de consumo referente a cada classe socioeconômica do município usado para validação do modelo. No que tange à distribuição atual das populações, segundo cada classe econômica, adotou-se a última tabela publicada pela ABEP (2010), a qual se encontra replicada pela Tabela 2.

Na mesma publicação, encontram-se os valores das rendas relativas a cada segmento socioeconômico, conforme mostrado na Tabela 3. Ressalta-se que esses últimos indicadores estão referenciados ao ano de 2009, período final da observação histórica dos demais dados.



Tabela 2 – Distribuição das populações nas regiões metropolitanas brasileiras, segundo classes socioeconômicas

Classe econômica	Distribuição da População (%)		
	BH	POA	Brasil
A1	0,6	0,2	0,6
A2	3,2	4,9	4,4
B1	7,7	11,3	9,1
B2	16,1	22,9	18,0
C1	24,2	27,0	24,5
C2	23,8	21,0	23,9
D	23,0	11,9	17,9
E	1,4	0,8	1,6

Tabela 3 – Rendas familiares mensais médias para cada faixa de classes sociais brasileiras

Classe socioeconômica	Renda familiar mensal média (R\$/mês)
A1	14.366,00
A2	8.099,00
B1	4.558,00
B2	2.327,00
C1	1.391,00
C2	933,00
D	618,00
E	403,00

Fonte: ABEP, 2010

Em Belo Horizonte, a população recenseada durante o Censo demográfico de 2010 atingiu 2.375.151 habitantes, sendo que no tocante ao número médio de moradores por domicílio, obteve-se um valor médio de 3,1, segundo o IBGE (2011). Para esse cenário, a Tabela 4 foi montada para mostrar os valores apurados relativos à população, sua distribuição socioeconômica e sua renda, em Belo Horizonte, para que fossem alimentados no modelo preditivo de consumo de energia elétrica.

Tabela 4 – Distribuição da população de Belo Horizonte entre classes socioeconômicas e suas respectivas rendas per capita em médias mensais

Classe econômica	Habitantes	Renda mensal média (R\$)	
		Familiar	Per capita
A1	14.251	14.366	4.634
A2	76.005	8.099	2.613
B1	182.887	4.558	1.470
B2	382.399	2.327	751
C1	574.787	1.391	449
C2	565.286	933	301
D	546.285	618	199
E	33.252	403	130

Analogamente, para a população de Porto Alegre recenseada em 2010 em 1.409.939 habitantes, montou-se a tabela 5, com os valores apurados relativos à população, sua distribuição socioeconômica e sua renda, para serem alimentados no mesmo modelo preditivo de consumo. No tocante ao número médio de moradores por domicílio, obteve-se um valor médio de 2,8, segundo o IBGE (2011).

Tabela 5 – Distribuição da população de Porto Alegre entre classes socioeconômicas e suas respectivas rendas per capita em médias mensais

Classe econômica	Habitantes	Renda mensal média (R\$)	
		Familiar	Per capita
A1	2.820	14.366	5.131
A2	69.087	8.099	2.893
B1	159.323	4.558	1.628
B2	322.876	2.327	831
C1	380.684	1.391	497
C2	296.087	933	333
D	167.783	618	221
E	11.280	403	144



Assim, pode-se calcular parcela do consumo referente à cada uma das classes socioeconômicas, atribuindo-se à cada uma o peso relativo decorrente do número de habitantes que existem em cada classe, como segue. Inicialmente procedeu-se aos cálculos relativos ao município de Belo Horizonte e imediatamente após, aqueles referentes à capital portoalegrense.

Cálculo dos consumos por classes socioeconômicas em Belo Horizonte:

Classe A1

$$14.251 * [(-0,0000005 * (4.634)^2 + 0,0036 * (4.634) + 0,2755)] = 88.654,36 \text{ kWh/dia}$$

Classe A2

$$76.005 * [(-0,0000005 * (2.613)^2 + 0,0036 * (2.613) + 0,2755)] = 476.430,92 \text{ kWh/dia}$$

Classe B1

$$182.887 * [(-0,0000005 * (1.470)^2 + 0,0036 * (1.470) + 0,2755)] = 820.623,11 \text{ kWh/dia}$$

Classe B2

$$382.399 * [(-0,0000005 * (751)^2 + 0,0036 * (751) + 0,2755)] = 1.031.368,15 \text{ kWh/dia}$$

Classe C1

$$574.787 * [(-0,0000005 * (449)^2 + 0,0036 * (449) + 0,2755)] = 1.029.500,71 \text{ kWh/dia}$$

Classe C2

$$565.286 * [(-0,0000005 * (301)^2 + 0,0036 * (301) + 0,2755)] = 742.672,46 \text{ kWh/dia}$$

Classe D

$$546.285 * [(-0,0000005 * (199)^2 + 0,0036 * (199) + 0,2755)] = 531.043,38 \text{ kWh/dia}$$

Classe E

$$33.252 * [(-0,0000005 * (130)^2 + 0,0036 * (130) + 0,2755)] = 24.441,88 \text{ kWh/dia}$$

Logo, para se obter o consumo total projetado pelo modelo para a população de Belo Horizonte, vem:

$$C = 88.654,36 + 476.430,92 + 820.623,11 + 1.031.368,15 + 1.029.500,71 + 742.672,46 + 531.043,38 + 24.441,88$$

$$C = \mathbf{4.744.734,97 \text{ kWh/dia, ou } 142.342.049 \text{ kWh/mês.}}$$

(Obs.: valor calculado pelo modelo)

A fim de avaliar o resultado do modelo, o qual representa o consumo obtido por meio do cálculo demonstrado acima, procedeu-se à comparação do mesmo com o histórico do consumo médio real total de Belo Horizonte. Conforme dados informados pela CEMIG, chega-se a um total de consumo médio residencial de energia elétrica na cidade de Belo Horizonte de 129.158.498 kWh/mês. Tendo em vista que não foram registradas tendências significativas de crescimento ou decréscimo dessa média de consumo durante o período observado, pode-se adotar a referida média com representativa para efeito comparativo.

Destarte, o volume apontado pelo modelo, após alimentação do mesmo com os dados de renda e população de Belo Horizonte, dista-se de 13.183.551 kWh a mais em relação à média efetivamente consumida mensalmente na cidade. Assim pode-se afirmar que o modelo apresentou resultado 10,2% maior que o valor real de consumo informado pela CEMIG.

Cálculo dos consumos por classes socioeconômicas em Porto Alegre:

Classe A1

$$2.820 * [(-0,0000005 * (5.131)^2 + 0,0036 * (5.131) + 0,2755] = 15.745,53 \text{ kWh/dia}$$

Classe A2

$$69.087 * [(-0,0000005 * (2.893)^2 + 0,0036 * (2.893) + 0,2755] = 449.450,69 \text{ kWh/dia}$$

Classe B1

$$159.323 * [(-0,0000005 * (1.628)^2 + 0,0036 * (1.628) + 0,2755] = 766.520,16 \text{ kWh/dia}$$

Classe B2

$$322.876 * [(-0,0000005 * (831)^2 + 0,0036 * (831) + 0,2755] = 943.385,39 \text{ kWh/dia}$$

Classe C1

$$380.684 * [(-0,0000005 * (497)^2 + 0,0036 * (497) + 0,2755] = 738.982,07 \text{ kWh/dia}$$

Classe C2

$$296.087 * [(-0,0000005 * (333)^2 + 0,0036 * (333) + 0,2755] = 420.104,67 \text{ kWh/dia}$$

Classe D

$$167.783 * [(-0,0000005 * (221)^2 + 0,0036 * (221) + 0,2755] = 175.615,03 \text{ kWh/dia}$$

Classe E

$$11.280 * [(-0,0000005 * (144)^2 + 0,0036 * (144) + 0,2755] = 8.838,24 \text{ kWh/dia}$$



Logo, para se obter o consumo total projetado pelo modelo para a população de Porto Alegre, vem:

$$C = 15.745,53 + 449.450,69 + 766.520,16 + 943.385,39 + 738.982,07 + 420.104,67 + 175.615,03 + 8.838,24$$

C = 3.518.639,24 kWh/dia, ou 105.559.177 kWh/mês.

(Obs.: valor calculado pelo modelo)

Analogamente, para nova validação do modelo, procedeu-se à comparação do resultado acima com o histórico do consumo médio real total de Porto Alegre, informado pela CEEE-D. A partir da análise dos dados informados pela CEEE-D, chega-se a uma média de consumo de energia elétrica na cidade de Porto Alegre de 97.537.049 kWh/mês. Tendo em vista que não foi registrada tendência de crescimento ou decréscimo significativo desta média durante o período observado, pode-se adotar a referida média com representativa para efeito comparativo.

Assim, o volume apontado pelo modelo, após alimentação do mesmo com os dados de renda e população de Porto Alegre, dista-se de 8.022.128 kWh a mais em relação a média efetivamente consumida mensalmente na cidade. Logo, pode-se afirmar que o modelo apresentou consumo projetado na ordem de 8,2% maior que o valor real informado pela CEEE-D.

Considerando-se as estimativas obtidas para projeção de consumo de energia elétrica em Belo Horizonte e Porto Alegre, faz-se possível tecer algumas suposições. A primeira que emerge refere-se à ampla gama de equipamentos eletro-eletrônicos disponíveis no mercado com díspares eficiências energéticas, o que possivelmente pode levar a maiores ou menores, conforme a tecnologia presente nos equipamentos adotados em cada família. Outra suposição é a de que equipamentos mais modernos, por apresentarem tecnologia de ponta, possuem maior eficiência energética, levando assim às famílias com maior poder aquisitivo a possibilidade de relativa redução em seus consumos domiciliares.

Sob o ponto de vista de futuros cenários, nos quais supostas alterações na estrutura de distribuição socioeconômica das populações, assim como modificações no poder aquisitivo relativo dos consumidores ou até mesmo na estrutura tarifária, o modelo torna-se útil para subsidiar políticas ou orientar diretrizes voltadas ao planejamento energético em centros urbanos.



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises dos resultados preliminares obtidos pelo modelo evidenciam que a principal variável explicativa é a renda, sendo que os demais fatores intervenientes representam baixo impacto e menor reflexo nas demandas domiciliares do insumo em questão. Nessa ótica, visando auferir robustez e representatividade, desenvolver-se-á a continuidade dos estudos baseados nas atuais realidades encontradas em Belo Horizonte, validando-se os mesmos tanto na própria capital Belo Horizonte, MG, como em outras capitais brasileiras. Tendo em vista o significativo grau de correlação encontrado, o trabalho permite afirmar que os resultados encontrados poderão contribuir para estudos e projeções de demandas aplicadas em outras regiões metropolitanas brasileiras, uma vez que o consumo de energia elétrica serviria como parâmetro comparativo para demanda de insumos em outras regiões investigadas. Além disso, considerando a qualidade dos resultados, permite-se supor que esta pesquisa sirva também de fundamento às demais abordagens concernentes às questões voltadas à eficiência no abastecimento e uso racional, além de auxiliar programas direcionados à prevenção de perdas. Recomenda-se, portanto, a continuidade da aquisição dos dados históricos para se aumentar o horizonte amostral, como também a utilização da metodologia em outras regiões para que no futuro resultados mais precisos e conclusivos possam ser obtidos para diversas regiões e cenários econômicos brasileiros.

Finalmente, pode-se considerar como desejável a validação do modelo em outras localidades, dependendo porém, da disponibilidade de dados socioeconômicos representativos de cada região. Atualmente, a base de dados desta pesquisa permite avaliar a distribuição socioeconômica das populações das seguintes capitais: Recife, Salvador, Rio de Janeiro e São Paulo, restando para tal a obtenção dos dados de consumo perante às concessionárias distribuidoras de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. Critério de Classificação Econômica Brasil. São Paulo, SP. Disponível em <<http://www.abep.org/default.aspx?usaritem=arquivos&iditem=23>> Acesso em: 25 de novembro de 2010.



ACHÃO, C. C. L.; Análise de decomposição das variações no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro. Tese de Doutorado em Planejamento Energético. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ARAÚJO, A. C. M.; Perdas e inadimplência na atividade de distribuição de energia elétrica no Brasil. Tese de Doutorado em Planejamento Energético. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

BAITELO, R. L.; Modelagem completa e análise dos recursos energéticos do lado da demanda para o PIR. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Energia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, 2006.

BORGES, V. M. N. A.; Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelador em tempo real – Estudo de Caso: Sistema Adutor metropolitano de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, 2004.

CAMARGO, I. M. T.; Panorama da oferta e do consumo de energia no Brasil para os próximos anos. Revista Brasileira de Energia. SBPE, 2007.

CANAVARRO, O. B.; Uma metodologia para a análise da consistência de dados de consumo regional de energia, aplicada ao planejamento energético da mesoregião 01 de Mato Grosso. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, Campinas, SP, 1998.

CARVALHO, C. B.; Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, Campinas, SP, 2005.

CASTRO, J. B. B.; MONTINI, A. A.; Previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil: Aplicação do modelo ARX. XIII SemeAD – Seminários em Administração. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, 2010.

CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais S.A. Relatório dos indicadores básicos gerenciais e informações básicas operacionais. Dados fornecidos pelo RC/FA. Belo Horizonte, MG. E-mail recebido em: 20 de maio de 2009.

CURSINO, E. A.; Análise do consumo de energia e perspectivas da demanda residencial de eletricidade em Rondônia. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, Campinas, SP, 1998.



DELGADO, M. A. P.; A expansão da oferta de energia elétrica pela racionalidade do mercado competitivo e a promessa de modicidade tarifária. Tese de Doutorado em Planejamento Energético. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DIAS, D. M. Avaliação do impacto da renda sobre o consumo hidrométrico de água em domicílios residenciais urbanos: Um estudo de caso para regiões de Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 2008. 130p.

DIAS, D. M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. RESA – Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

GOMES, L. S. F.; A demanda por energia elétrica residencial no Brasil: 1999-2006 Uma estimativa das elasticidades-preço e renda por meio de painel. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia de Ribeirão Preto. USP, Ribeirão Preto, SP, 2010.

HERINGER, R. M.; Análise e projeção do mercado de energia elétrica no Brasil. Monografia em Engenharia Elétrica. Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Cidades”. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 02 de maio de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Mensal do Emprego. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>> Acesso em: 06/08/2010.

LEITE, A. A.; Prospecção de mercados regionais de energia, associada a planos energéticos nacionais e projeções estaduais, como contribuição a um planejamento integrado de recursos em bacias hidrográficas. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, Campinas, SP, 2006.

LEITE, A. A. F.; BAJAY, S. V.; Impactos de possíveis novos programas de eficiência energética nas projeções da demanda energética nacional. Revista Brasileira de Energia. Associação Brasileira de Planejamento Energético, Itajubá, MG, 2007.



LOUREIRO, P. G. C.; Custo marginal do déficit de energia elétrica: Histórico, avaliação e proposta de uma nova metodologia. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

MARINS, K. R. C. C.; Proposta metodológica para planejamento energético no desenvolvimento de áreas urbanas. Tese de Doutorado em Tecnologia da Arquitetura. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, 2010.

MARRECO, J. M.; Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria da opções reais. Tese de Doutorado em Planejamento Energético. COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MELO, L. B.; PINHEIRO, R. B.; Consumo final de energia para o setor residencial no estado de Minas Gerais, no longo prazo – 2005-2025. Revista Brasileira de Energia, SBPE, 2007.

MORALES, C.; Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão: Classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Energia, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, 2007.

OLIVEIRA, M. M.; FAVARETO, A. S.; GUERRA, S. M.; Tarifação energética residencial urbana e rural e privatização do setor elétrico. Revista Brasileira de Energia, SBPE, 2008.

PMBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. “Regionais e Bairros Populares”. Prodabel – Belo Horizonte, MG, 2007.

POMPERMAYER, M. L.; Conservação de energia elétrica através da racionalização do uso urbano de água: Uma análise das possibilidades, baseando-se na cidade de Campinas, SP. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, Campinas, SP, 1996.