

## Modelo para estimativa do consumo domiciliar de água e de energia elétrica em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas

**David Montero Dias**

Engenheiro Civil (UFRJ), Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG) e Analista de Planejamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**Carlos Barreira Martinez**

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia (Unicamp), Coordenador do Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG, Pesquisador do CNPq e Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

**Marcelo Libânio**

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutor em Hidráulica e Saneamento (USP), Pós-doutorado pela Universidade de Alberta (Canadá), Pesquisador do CNPq, e Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

Recebido: 03/04/13 - Revisado: 29/01/14 - Aceito: 09/07/14

---

### RESUMO

*Na determinação da demanda domiciliar de energia elétrica e de abastecimento de água torna-se crucial estimar com maior acurácia os consumos residenciais per capita. Neste contexto, o artigo versa sobre a proposição de dois modelos de predição de consumo de água e de energia elétrica, desenvolvidos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. Para tal elaboração, efetuaram-se comparações entre rendas per capita e consumos de água e energia elétrica em bairros dos distritos operacionais das concessionárias de Belo Horizonte (Copasa e Cemig). Posteriormente ao cálculo de variáveis derivadas e consolidações necessárias, procederam-se análises e regressões, visando à obtenção das melhores correlações entre variáveis explicativas e dependentes, ajustando-se curvas que denotassem a melhor aderência dos dados. Para validação dos modelos, selecionou-se uma capital brasileira com indicadores de IDH-M e renda per capita superior à média nacional, ensejando cenário de desenvolvimento socioeconômico de possível alcance dentro da realidade brasileira. Neste viés, os modelos propostos foram validados para a realidade de Porto Alegre, comprovando a relação intrínseca entre a renda per capita e o consumo domiciliar de água e de energia elétrica. Os erros equivalentes entre os valores mensais estimados pelos modelos e os efetivamente verificados, respectivamente para Belo Horizonte e Porto Alegre, foram para demanda de água de -2,6% e -0,4%, e para energia elétrica de +10,2% e +8,2%. A baixa magnitude dos erros permite estimar o emprego da metodologia e dos modelos dela decorrentes para outros centros urbanos brasileiros.*

**Palavras Chave:** Consumo de água. Demanda de energia elétrica. Renda per capita.

---

### INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA

Na estimativa da vazão de demanda para implantação ou, mais usualmente, ampliação dos sistemas de abastecimento de água, visando a elevar o espectro da população abastecida, torna-se crucial estimativa acurada do consumo residencial per capita. Dentre os principais fatores intervenientes no consumo domiciliar comumente listados na literatura técnica – clima, percentual de hidrometração, valor da tarifa, pressões dinâmicas e estáticas na rede de distribuição, qualidade da água, entre outros, as características socioeconômicas da população abastecida parecem adquirir papel de relevo.

A micromedição realizada em redes de distribuição de água por meio de instalação de hidrômetros nas unidades de consumo, sob o ponto de vista operacional das concessionárias, estabelece uma “fronteira” a partir da qual a vazão de demanda passa a ser de inteira responsabilidade da cada economia. Ou seja, os registros administrativos obtidos pelos hidrômetros determinam o volume a ser faturado e cobrado de cada consumidor. De fato, o percentual de hidrometração talvez fosse fator preponderante na determinação dos consumos, caso se considere que a ausência da micromedição haverá de induzir a

usos pouco racionalizados, em decorrência da inelasticidade da fatura em relação ao volume de água demandado. No entanto, desprezando-se as ligações clandestinas, nos dois municípios estudados nesta pesquisa existe universalização da hidrometração em toda a rede de distribuição. Assim, tal condição possibilita afirmar que as perdas físicas, normalmente observadas nas redes, passam a ser característica vinculada somente à eficiência operacional de cada concessionária, não impactando portanto na modelagem das demandas domiciliares que consideram apenas os volumes micromedidos.

Das variáveis mencionadas, ao clima cabem algumas considerações. Estudo elaborado a partir de dados de 1996 nos Estados Unidos (AWWA, 1998) apontou variação do consumo médio per capita de 640 L/hab.dia, no estado da Flórida, até 803 L/hab.dia no Alasca. Os dados referem-se apenas ao abastecimento doméstico e industrial, não contemplando o consumo com irrigação, fragilizando sob certo prisma a relevância do clima como fator interveniente no consumo per capita.

A influência da temperatura foi avaliada em estudo realizado na cidade australiana de Melbourne, envolvendo o consumo per capita e as temperaturas máximas diárias registradas durante o verão no período de 1990 a 1997 (ZHOU et al., 2001).

Detectou-se uma relação complexa entre essas duas variáveis, com duas regressões representando o fenômeno. A primeira equação de regressão foi obtida para temperaturas inferiores a 39°C e a segunda para temperaturas superiores a esse valor.

A partir de amostra de 96 municípios de Minas Gerais com população abastecida inferior a 300 mil habitantes, pesquisa concluiu que a renda per capita constitui bom indicador para estimativa do consumo per capita de água (FERNANDES et al., 2005). Os resultados desta pesquisa culminaram com coeficientes de determinação significativos, considerando a amplitude e a heterogeneidade da amostra, relacionando o consumo per capita à renda per capita ( $R^2 = 0,524$ ) e ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) ( $R^2 = 0,567$ ). Nesta pesquisa, inseriu-se a temperatura média anual como variável explicativa, apresentando como menos relevante quando comparada às mencionadas variáveis socioeconômicas.

Para o presente estudo, a comparação entre as condições climáticas de Belo Horizonte e Porto Alegre torna-se mais complexa. A despeito das temperaturas médias anuais registradas no período de 1961 a 1990 serem pouco díspares - 21,1 °C para Belo Horizonte e 19,5 °C para Porto Alegre -, as médias das máximas e, principalmente, das mínimas o são. No período de dezembro a março, as médias das temperaturas máximas de Porto Alegre variaram de 29,5 a 30,9 °C, reduzindo-se para 27,5 a 28,4 °C em Belo Horizonte. Esta distinção evidenciou-se mais significativamente no período de junho a agosto, com média mínima de 10,5 a 11,8 °C em Porto Alegre e de 15,2 a 16,4 °C em Belo Horizonte. Neste contexto, é possível estimar que a necessidade de equipamentos de aquecimento do ambiente - e em menor monta de refrigeração - manifestar-se-á mais significativamente em Porto Alegre do que em Belo Horizonte, podendo interferir na demanda de energia elétrica.

Às características socioeconômicas da população associa-se o valor da tarifa de água praticado pela concessionária mesmo nos países desenvolvidos. Na região sudoeste da França, a magnitude da tarifa tem concorrido para o crescimento de formas alternativas de abastecimento em detrimento do acesso à água tratada fornecida pelas concessionárias. A despeito dos riscos à saúde, diversos consumidores da região têm optado pela perfuração de poços rasos, pela recirculação de águas cinzas ou pelo aproveitamento de água de chuva, como forma de reduzir o custo do abastecimento doméstico (Montginoul, 2005).

Evidentemente que a questão do custo da tarifa de água, como forma de remuneração para concessionária dos investimentos de implantação e de operação dos sistemas de abastecimento, também é afeita aos países em desenvolvimento. Proposições menos convencionais de abastecimento para as populações de baixíssimo poder aquisitivo têm sido elaboradas visando a ampliar a cobertura de tais serviços. Estes novos paradigmas fiam-se basicamente na formação de cooperativas que viabilizariam a construções de chafarizes públicos como alternativa ao alto custo de implantação das redes de distribuição (MARA; ALABASTER, 2008).

A relação entre a renda da população abastecida – ou, em outras palavras, o seu poder de compra associado ao valor da tarifa - e o consumo de água reverte ao conceito de elasticidade demanda-preço. Este paradigma atesta que, mantidas

inalteradas as demais variáveis, a demanda de determinado bem diminui quando seu preço aumenta, como de alguma maneira o mencionado comportamento dos consumidores franceses atesta.

Todavia, para os países desenvolvidos, a correlação renda-consumo também se verifica, mas sob taxa de crescimento que apresenta tendência de saturação quando se elevam os níveis de renda da população. Ou seja, em elevados níveis de rendimento a segunda derivada da função renda-consumo tem seu sinal negativo, implicando decréscimo da taxa de consumo, conforme mostra a Figura 1.

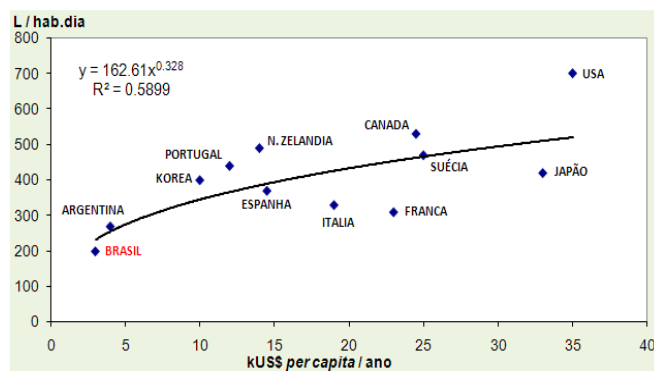


Figura 1 – Relação entre renda e consumo domiciliar de água per capita para alguns países

Fontes: National Geographic Society (2008), United Nations (2010)

Diferentemente, o consumo doméstico de energia elétrica parece crescer em função potencial e não apresentar saturação nos maiores níveis de renda. Pode-se observar também significativa correlação entre os níveis de renda da população e os níveis de consumo doméstico de energia elétrica, conforme denota a Figura 2.

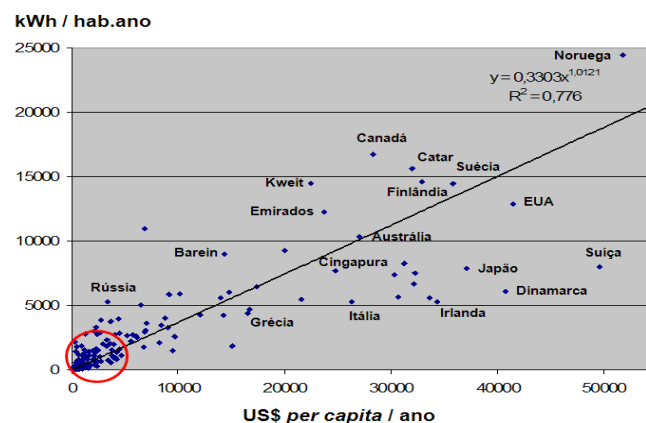


Figura 2 – Consumo doméstico per capita de energia elétrica, segundo níveis mundiais de renda per capita anual

Fontes: National Geographic Society (2008), United Nations (2010)

A tendência de crescimento contínuo do consumo de energia elétrica com aumento de renda das nações torna-se menos significativa caso a análise contemple apenas os países com renda per capita anual abaixo de 7.000 US\$/hab.ano e consumo de energia elétrica inferior a 3.000 kWh/hab.ano (destacados na Figura 2).

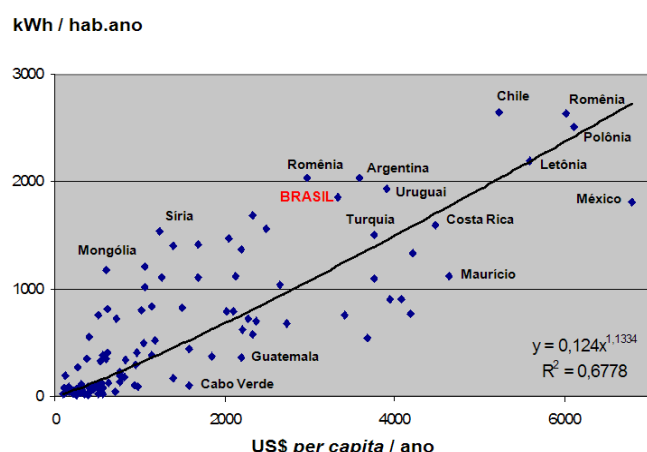


Figura 3 – Consumo doméstico de energia elétrica em países com renda *per capita* anual inferior a 7.000 US\$

Fontes: National Geographic Society (2008), United Nations (2010)

Da análise da Figura 3 observa-se maior dispersão dos dados e conseqüente maior variância amostral. Ressalta-se que o Brasil encontra-se na parte superior em relação à curva ajustada no gráfico, sugerindo que o País apresenta maior intensidade de consumo energético em relação aos países do mesmo patamar de rendimento que se situam abaixo da curva ajustada. De qualquer forma, em ambos os grupos representados, nota-se elevada elasticidade renda-consumo. Percebe-se ainda que mesmo aumentando-se a escala, como efetuado no gráfico da Figura 3, ainda assim, permanece concentração de países situada próxima à interseção dos eixos cartesianos, indicando realidades com alto grau de pobreza e baixa qualidade de vida.

O consumo domiciliar de energia elétrica apresenta-se intimamente relacionado ao abastecimento de água. Para produção de energia elétrica a água torna-se estratégica, principalmente em países como o Brasil, onde a matriz energética mostra que a obtenção e o potencial de energia elétrica vêm em grande maioria da produção de aproveitamentos hidrelétricos, superando 75% do total produzido. Curiosamente, de maneira inversa, a energia elétrica aparece como insumo indispensável à captação, tratamento e distribuição de água potável, assim como à coleta, transporte e tratamento de esgotos, representando 2,5% de toda a energia elétrica consumida no Brasil. A energia elétrica constitui-se, portanto, em insumo relevante, tornando-se via de regra o segundo maior custo – superado apenas pelos recursos humanos – na operação das companhias de saneamento (ELETROBRAS, 2011).

Em nível internacional, a correlação entre os consumos domiciliares de água e de energia elétrica, e de ambos com a renda per capita, evidencia-se na Figura 4, na qual a concavidade da curva de ajuste parece ser mais significativamente determinada pelo segundo insumo.

Regressões mostram ainda moderadas tendências de crescimento e decréscimo de consumos, tanto de água como de energia elétrica, nos países abordados pelo estudo, além de comportamentos enquadrados nos moldes previstos pelas correlações obtidas. De maneira resumida, na Tabela 1 apresenta-se síntese das melhores equações encontradas para

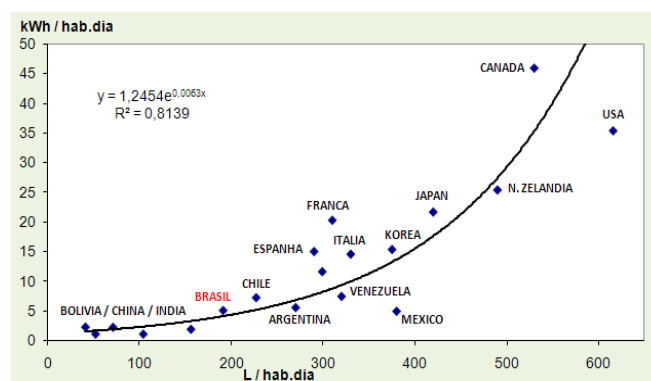


Figura 4 – Consumo per capita de água versus consumo *per capita* de energia elétrica em alguns países do mundo

Fontes: National Geographic Society (2008), United Nations (2010)

representar a correlação entre consumos domésticos mundiais de água, representados pela variável “x”, e os consumos domésticos de energia elétrica, representados pela variável “y”. A melhor correlação encontrada ocorreu quando se considerou toda a amostra analisada, ou seja, todas as nações. No entanto, quando segmentados, os países latino americanos fundamentam o modelo comportamental que, apesar de menor coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,6214$ ), melhor explica os consumos das duas cidades brasileiras (Belo Horizonte e Porto Alegre) analisadas nesta pesquisa.

Tabela 1 - Equações de correlação de consumos de água e energia elétrica em países do mundo

Grupo de países	Funções	Coefficiente de determinação ( $R^2$ )
Todos	$y = 1,245. e^{0,0063.x}$	0,8139
América Latina	$y = 1,477. e^{0,0045.x}$	0,6214
Países de alta renda	$y = 5,204. e^{0,0034.x}$	0,7709

Ao se enfocar aspectos relacionados às regionalidades do território brasileiro, evidenciam-se algumas diferenças quanto ao perfil dos consumos por parte das populações. A Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) do IBGE (2009) apresenta os números relativos à distribuição da participação dos gastos com alguns insumos entre as famílias, tanto na Região Sudeste quanto na Região Sul, segundo faixas de renda familiar.

De acordo com a pesquisa, observa-se que, na Região Sudeste os gastos com água e energia elétrica são idênticos aos das médias brasileiras, indicando assim que a Região Sudeste apresenta boa representatividade da realidade brasileira. No entanto, em relação à média nacional, as famílias menos favorecidas economicamente apresentam maior peso relativo do orçamento com água e energia, ao contrário das famílias mais abastadas, que gastam relativamente menos com os mesmos insumos, proporcionalmente a seus orçamentos mensais (IBGE, 2009).

De forma surpreendente, as populações da Região Sul despendem relativamente menos com energia elétrica se compa-

**Tabela 2 - Participação (%) média mensal das despesas no orçamento familiar Região Sudeste**

Insumos	Região Sudeste	Faixa de rendimento familiar (R\$)						
		<830	831 a 1245	1246 a 2490	2491 a 4150	4151 a 6225	6226 a 10375	>10375
Água e esgoto	0,9	1,8	1,7	1,4	1,0	0,7	0,5	0,3
Energia elétrica	2,3	4,2	4,1	3,4	2,5	2,1	1,6	1,2
Educação	2,7	0,8	0,9	1,6	2,6	3,2	4,4	3,1
Alimentação	14,8	26,0	23,8	20,3	16,4	13,6	11,7	8,5
Impostos	5,3	2,8	1,6	2,3	3,0	4,3	6,5	10,4

**Tabela 3 - Participação (%) média mensal das despesas no orçamento familiar Região Sul**

Insumos	Região Sudeste	Faixa de rendimento familiar (R\$)						
		<830	831 a 1245	1246 a 2490	2491 a 4150	4151 a 6225	6226 a 10375	>10375
Água e esgoto	0,9	2,0	1,8	1,4	0,9	0,7	0,6	0,3
Energia elétrica	2,2	4,1	3,6	3,2	2,4	1,9	1,4	0,9
Educação	2,0	0,9	1,4	1,5	1,7	2,6	3,4	2,0
Alimentação	14,9	23,1	21,3	19,7	15,7	13,7	11,2	8,0
Impostos	4,0	1,9	2,3	2,4	3,3	3,8	4,8	7,8

**Fonte: Pesquisa de Orçamentos Familiares, IBGE (2009)**

radados aos gastos percentuais da população habitante da Região Sudeste. Os resultados mostram os números percentuais com gastos em energia elétrica da Região Sul, podendo-se observar que tais percentuais são menores em todas as faixas salariais estratificadas pelo IBGE (Tabelas 2 e 3).

Destarte, incorporar distintos padrões de consumo decorrentes de diferenças regionais e socioeconômicas torna-se o desafio no processo de desenvolvimento de modelos preditivos de demanda. A metodologia adotada neste trabalho objetiva facilitar o preenchimento dessa lacuna, oferecendo ferramenta que comporte com flexibilidade sua implementação em situações e cenários futuros com diversas características socioeconômicas das populações.

## OBJETIVOS

O objetivo principal do artigo é propor modelos - desenvolvidos para o município de Belo Horizonte - para estimativa dos consumos domiciliares de água e de energia elétrica em centros urbanos, a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. Adicionalmente, o artigo visa a:

- Aplicar os modelos desenvolvidos à cidade de Porto Alegre, alimentando-os com dados socioeconômicos da capital riograndense,

a fim de se obter as demandas dos insumos e compará-las aos quantitativos efetivamente registrados pelas concessionárias gaúchas, no intuito de se validar a metodologia assim como os modelos propostos;

- Projetar demandas de água e de energia elétrica sob futuros cenários socioeconômicos hipotéticos para Porto Alegre, visando a quantificar o impacto da renda sobre os atuais patamares de distribuição dos insumos avaliados.

## METODOLOGIA

### Evolução do processo metodológico

Primeiramente, pensou-se em aplicar questionários em universo amostral a ser definido espacialmente no município de Belo Horizonte, de tal forma que se pudesse subsidiar a pesquisa com informações históricas de consumo de água e de energia elétrica, além de outros dados como número de moradores, grau de instrução, dentre outros.

A inviabilidade, temporal e financeira, da aplicação dos questionários elaborados conduziu à perspectiva de trabalhar com os dados de consumo de água fornecidos pela concessionária local (Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa).



Tais informações seriam analisadas conjuntamente aos resultados da Pesquisa Mensal de Emprego – PME do IBGE na Região Metropolitana de Belo Horizonte (IBGE, 2010), a partir da qual se poderiam obter os dados conjunturais de rendimento e ocupação das populações. Assim, além de confiáveis e representativas, tais informações conteriam o logradouro e suas respectivas variáveis socioeconômicas de interesse. Todavia, mesmo tendo sido reiterada a intenção de uso exclusivamente acadêmico e científico, ambos órgãos (IBGE e Copasa) negaram a cessão dos dados devido à quebra de sigilo cadastral.

A solução encontrada, para que se pudesse suprir a identificação dos informantes e conferir confiabilidade e representatividade à pesquisa, foi a utilização da própria PME do IBGE, contudo, em nível de microdados da pesquisa. Desta forma, as comparações entre renda e consumo de água e de energia elétrica passaram a ser realizadas segundo cada bairro que compôs os respectivos distritos operacionais das concessionárias. Se por um lado este caminho levaria a suposto questionamento relativo à imprecisão por estar trabalhando-se com indicadores médios de renda e de consumo, por outro, possibilitou o tratamento dos microdados de forma automatizada, utilizando-se amostras mais representativas, além de ferramental estatístico mais produtivo e seguro, levando a resultados mais confiáveis e robustos (DIAS et al., 2010).

Posteriormente, tencionou-se validar o modelo para cenários socioeconômicos mais evoluídos, que pudessem sustentar a idéia de que no futuro o Brasil como um todo reduziria a pobreza e melhoraria as condições socioeconômicas da população. Nesta vertente, decidiu-se trabalhar com os dados de consumo de água e de energia elétrica de Porto Alegre – uma das seis capitais cobertas pela PME –, uma vez que o Rio Grande do Sul apresenta indicadores como IDH e renda per capita superiores à média brasileira, realidade para a qual o Brasil poderá no futuro alcançar.

## **Formação do banco de dados**

No tocante à abordagem dos indicadores socioeconômicos relativos às capitais brasileiras, foram consultados institutos de pesquisa, como o IBGE e a Fundação João Pinheiro (FJP – entidade do Governo do Estado de Minas Gerais). A partir de dados do IBGE e da FJP, as duas capitais foram classificadas para fins de obtenção das características socioeconômicas, a partir de indicadores como IDH-M, renda per capita, área, população residente e média de habitantes por domicílio.

Em relação ao critério para classificação socioeconômica das populações, recorreu-se ao IBGE e à Associação de Empresas de Pesquisa (ABEP). A partir do conhecimento das classes sociais, montaram-se os painéis de distribuição da população em classes para efeito de validação dos modelos e projeção de cenários futuros.

Em Belo Horizonte, os consumos mensais hidrometrados residenciais de água foram oriundos da Copasa e de energia elétrica da Cemig (Centrais Elétricas de Minas Gerais). Analogamente, no caso de Porto Alegre, coube ao Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE) a cessão dos consumos mensais de água e à Companhia Estadual de Energia

Elétrica (CEEE) os consumos mensais de energia elétrica, em período amostrado – com pequenas variações – de janeiro de 2002 a abril de 2009.

No município de Belo Horizonte estão cadastrados 531 bairros populares (PMBH, 2007), distribuídos segundo as nove regionais administrativas. Para que fossem realizadas as regionalizações dos indicadores socioeconômicos foi necessária a catalogação dos bairros existentes em cada região administrativa para que posteriormente se realizasse a compatibilização entre tais regiões e os distritos operacionais das concessionárias de serviços (Copasa e Cemig). Mais especificamente, analisou-se cada regional administrativa em separado para que todos os bairros fossem considerados nas agregações. A catalogação de todos os bairros fez-se necessária também para que se identificasse espacialmente a localidade de cada informação socioeconômica obtida perante as pesquisas do IBGE.

Os dados socioeconômicos foram cumulativamente obtidos junto ao IBGE, por intermédio dos microdados (em nível de questionários) e de forma histórica, cobrindo o mesmo período relativo ao consumo de água e de energia elétrica. Na ocasião em que se concluiu o desenvolvimento do processo metodológico desta pesquisa, a disponibilidade dos dados do IBGE reportava-se até dezembro de 2010.

Os microdados da PME são os dados primários da pesquisa em seu nível menos agregado, contendo todas as variáveis do questionário, com exceção das identificações de cada informante. Cada arquivo de microdados apresenta os dados mensais para todas as seis regiões metropolitanas, ou seja, para o total aproximado de 37.200 domicílios amostrados. Cada arquivo mensal de microdados possui cerca de 105.000 registros com extensão 482 colunas, representando 187 variáveis em cada um deles, as quais foram filtradas de acordo com o interesse deste trabalho.

O tamanho da amostra da PME para Região Metropolitana de Belo Horizonte atingiu 6.700 domicílios com seus 19.200 moradores abrangidos mensalmente pelas entrevistas, sendo que especificamente em Belo Horizonte a amostra contemplou por volta de 3.100 domicílios com aproximadamente 10.200 moradores abarcados mensalmente pela pesquisa. Considerou-se, por consequência, significativo o plano amostral adotado pelo IBGE para apontar a renda média e demais indicadores de cada uma das regiões administrativas do município de Belo Horizonte (DIAS, 2010). Seguindo a íntegra das proporções amostrais do IBGE, calcularam-se o, número médio de moradores por domicílio, a idade e o grau de instrução, e os rendimentos domiciliares mensais per capita. Em seguida, tais indicadores foram consolidados e confrontados com os dados de consumos domiciliares de água e de energia elétrica, segundo cada região ou distrito operacional relativo às concessionárias pesquisadas.

## **Dados de consumo de água**

Para elaboração do modelo de previsão de demanda domiciliar de água foram utilizados dados de consumo micrometrados informados pela Copasa, por meio de relatórios de informações operacionais emitidos para cada um dos seis distritos operacionais do município, a saber, Norte (DTNO),

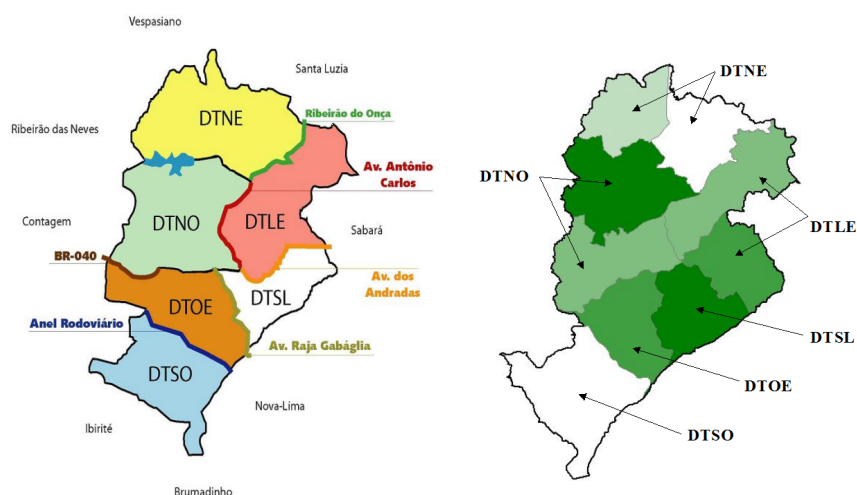


Figura 5 – Correspondência de localização entre os distritos operacionais da Copasa e as regiões administrativas de Belo Horizonte

Nordeste (DTNE), Leste (DTLE), Sul (DTSL), Oeste (DTOE) e Sudoeste (DTSO).

Para efeito de apuração dos indicadores socioeconômicos relativos aos seis distritos operacionais, utilizou-se a base espacial de dados referentes às regionais administrativas adotadas pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, procedendo-se à consolidação dos dados para que a sobreposição espacial e geográfica coincidissem entre as regiões. As nove regiões administrativas foram agrupadas para que se desse a melhor coincidência espacial em relação aos distritos regionais da Copasa, conforme assinalado pela Figura 5.

Em seguida, a fim de se estabelecer correta comparação entre a renda e o custo da água ao longo do histórico considerado para os consumidores de Belo Horizonte, foi solicitada à Copasa a evolução das tarifas residenciais praticadas. Baseados na evolução de valores das tarifas, calcularam-se índices deflatores para que fossem aplicados aos rendimentos mensais apurados, inferindo-se assim o real poder aquisitivo das famílias em relação ao custo do insumo água.

Por fim, para validar o modelo ao consumo domiciliar de Porto Alegre, obtiveram-se junto ao DMAE os consumos mensais micromedidos pela categoria residencial, referentes ao período de janeiro de 2002 a abril de 2009. A impossibilidade da obtenção de quantitativos segregados por bairros ou distritos operacionais - o DMAE não dispunha na ocasião de apurações de consumo regionalizadas - se, por um lado, inviabilizou a análise setorializada, por outro permitiu validar o modelo de consumo dentro da realidade socioeconômica de Porto Alegre. Desta forma, puderam-se comparar os volumes calculados pelo modelo com o total real consumido.

### Dados de consumo de energia elétrica

Similarmente, para elaboração do modelo de previsão de consumo residencial de energia elétrica utilizaram-se os consumos domiciliares segmentados em 13 agências operacionais no município de Belo Horizonte disponibilizados pela Cemig, compreendendo o período de julho de 2002 a abril de 2009.

Novamente, efetuou-se a compatibilização espacial dos

dados de consumo de energia elétrica, dos dados demográficos e dos respectivos indicadores socioeconômicos. Assim, os dados de consumo de energia elétrica foram novamente agregados, mas agora segundo cada regional administrativa da Prefeitura de Belo Horizonte, viabilizando-se a exata superposição das informações, ou seja, a renda per capita média apurada para cada regional refere-se exatamente ao respectivo consumo energético.

A exemplo do insumo água, apuraram-se os deflatores a serem aplicados devido ao incremento das tarifas de energia elétrica, visando ao cálculo das rendas reais per capita mensais deflacionadas para cada região estudada. Da mesma forma, procedendo-se assim pôde-se avaliar a real variação da renda levando-se em conta a majoração histórica das tarifas.

Por fim, os dados de consumo residencial de energia elétrica referentes a Porto Alegre, disponibilizados pela CEEE, foram totalizados e confrontados aos resultados obtidos pelo modelo de previsão de consumo desenvolvido a partir da realidade socioeconômica de Belo Horizonte.

### Análise estatística

Para fins de leitura, classificação, manipulação, armazenamento, tratamento estatístico, processamento e análise dos microdados advindos da PME, utilizou-se o software estatístico Statistical Package for the Social Science (SPSS). O tratamento dos dados socioeconômicos consistiu, a partir do arquivo mensal de microdados do IBGE, em proceder à entrada das informações ao SPSS empregando rotina desenvolvida para tal. Assim, foram lidas do arquivo original, em formato tipo texto, apenas as variáveis pertinentes à pesquisa, procedendo-se à seleção, à agregação dos dados de interesse e ao cálculo dos indicadores para cada região abordada.

A preparação dos indicadores socioeconômicos deu-se a partir de cálculo realizado com os dados da pesquisa conjuntural PME, na qual se afere mensalmente, dentre outras variáveis, a evolução do emprego e renda nas principais regiões metropolitanas brasileiras. São empregadas rotinas especificamente desenvolvidas para o tratamento desejado dos dados utilizando-se de linguagem de programação com sintaxe inerente ao SPSS.

Na seqüência, calcularam-se os indicadores socioeconômicos agregados para cada distrito operacional da Copasa e agências operacionais da Cemig. Os indicadores médios de renda, grau de instrução, idade e sexo foram encontrados a partir das médias calculadas dentre todos os questionários realizados em cada um dos bairros que compõem cada um dos distritos operacionais.

Para que os indicadores per capita mantivessem sua fidedignidade, não se poderia deixar de considerar a evolução populacional de cada distrito durante o período de observação da pesquisa. Como melhor alternativa, foram adotadas as estimativas populacionais realizadas e consideradas pela própria Copasa, já segmentadas por distrito operacional e em números absolutos que contemplavam os residentes abastecidos por ligações da rede de distribuição de água.

Após a divulgação dos dados relativos ao último Censo Demográfico de 2010, divulgados pelo IBGE, ajustaram-se projeções de população em cada regional administrativa, interpolando-se os dados entre os resultados do ano 2000 e 2010.

No processo analítico adotado, diversas confrontações de dados foram realizadas para se alcançar a melhor correlação possível. Tais confrontações seguiram a ordem em que estão listadas, conforme denota a Tabela 4. Conforme mencionado,

**Tabela 4 – Confrontações entre as variáveis avaliadas para elaboração dos modelos**

Consumo de água	
Variáveis explicativas	Variáveis dependentes
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo residencial total
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo total
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo residencial <i>per capita</i>
Renda <i>per capita</i> deflacionada	Consumo total <i>per capita</i>
Renda <i>per capita</i> absoluta	Consumo residencial <i>per capita</i>
Consumo de energia elétrica	
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>

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 distrito operacional da Copasa e agência operacional da Cemig, os rendimentos médios foram deflacionados segundo os índices de reajuste autorizados quando os mesmos ocorreram.

Na construção dos gráficos demonstrativos dos resultados, ajustaram-se curvas mediante regressões logarítmicas, geométricas, exponenciais e lineares. Para efeito de análise da qualidade da aderência dos dados aos modelos propostos ou validação do cruzamento dos mesmos, usou-se a técnica denominada *leave-one-out*. Nesta, de forma aleatória, extraem-se parcelas da amostra com tamanhos aproximadamente iguais entre si, calculando-se seus desvios-padrão e comparando-se respectivamente os resíduos e erros relativos à amostra principal e à parcela extraída. Para comprovação da qualidade da aderência, os resíduos obtidos da amostra principal devem ser menores que os erros da parcela de dados extraída, ou seja, a amostra principal deve sempre representar melhor o modelo do que qualquer parcela extraída do mesmo. Em todos os casos testados durante a manipulação dos pontos, tal exigência foi atendida. Estatisticamente, da mesma forma que não eram aplicáveis testes de hipótese, estimativas também não se faziam necessárias e, portanto, níveis de confiança e margens de erros não foram estabelecidos.

O critério de escolha para as funções finais de demanda relativas ao consumo de água e de energia elétrica buscou maximizar os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dentre as diversas regressões realizadas. Apesar de não ter sido adotado formalmente algoritmo específico, cálculo numérico ou ferramenta econométrica mais complexa, pode-se afirmar que o processo manual de regressões realizado, na prática, assemelhou-se à regressão multivariada.

A pretensão de se delinear modelos explicativos para o consumo domiciliar de água e de energia elétrica, segundo cenários socioeconômicos estabelecidos em projeto, fundamentou-se em processo de modelagem que utiliza a técnica de Data Mining<sup>1</sup>, a qual tem como axioma o desenvolvimento de modelos que mostrem resultados baseados apenas na representatividade de que seus dados enunciam.

Sinteticamente, considerando-se a especificidade desta pesquisa, pode-se afirmar que os modelos de projeção de consumo domiciliar urbano de água e de energia elétrica basearam-se na renda e na classificação econômica das populações estudadas. Nesse contexto, torna-se possível estabelecer classes econômicas, com respectivos agrupamentos sob faixas de rendimento per capita, para as quais se definiu consumo per capita típico.

Especificamente na área da energia elétrica, cabe ressaltar ainda que, em toda a bibliografia pesquisada, dentro dos principais centros de pesquisa nacionais voltados ao planejamento energético (NIPE/FEM–Unicamp<sup>2</sup>, COPPE/PPE–UFRJ<sup>3</sup> e PPGE/GEPEA–USP<sup>4</sup>), não se encontrou metodologia semelhante para a estimação futura de demandas de energia elétrica.

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

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

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

4 PPGE/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.

## Validação da metodologia

Levando-se em conta que o resultado da metodologia conduz à projeção de demandas futuras, sua validação deu-se em outra região distinta da qual o modelo foi elaborado. Nessa vertente, os quantitativos estimados pelos modelos deveriam ser comparados aos volumes efetivamente demandados em cidade que viria a se tornar parâmetro socioeconômico comparativo.

Desta forma, Porto Alegre constituiu-se como solução para a continuidade da pesquisa proposta. A capital porto-alegrense, conforme salientado, também é uma das capitais cobertas pela PME do IBGE, a partir da qual se podem obter os dados conjunturais de rendimento e ocupação das populações. Em decorrência da disponibilidade dos dados, aplicaram-se os modelos delineados para Belo Horizonte à cidade de Porto Alegre. Foram utilizados dados de consumos domiciliares de água e de energia elétrica durante o período disponibilizado pelas concessionárias. Mediante a caracterização socioeconômica atual do local estudado, o resultado apontado pelos modelos foi confrontado com os efetivos medidos, o que possibilitou avaliar a validade dos modelos propostos.

## Projeções futuras de demanda de água e de energia elétrica

Após a validação dos modelos, viabilizou-se a utilização dos mesmos para projeções futuras de demanda. Assim, os referidos modelos foram alimentados no sentido de simular arranjos socioeconômicos conjunturais futuros, nos quais as condições refletissem situações de desenvolvimento econômico favoráveis e adversas. Para tanto, formularam-se três cenários, sendo um deles coerente às previsões do Governo Federal para o crescimento anual do PIB, um de otimismo elevado e, finalmente, cenário refletindo suposta retração advinda de crise econômica de origem interna ou externa.

Os cenários foram aplicados aos modelos de consumo de água e de energia elétrica. As taxas de crescimento de renda e consequentes migrações entre classes sociais foram estipuladas, nas quais se estabeleceram as distribuições percentuais projetadas da população entre as diversas classes socioeconômicas.

Desta forma, obtiveram-se os quantitativos totais de consumo de água e de energia elétrica projetados nas cidades em estudo. Tais quantitativos, comparados aos atuais níveis de consumo, apontaram o impacto que os sistemas de abastecimento de água e de geração de energia elétrica haverão de sofrer.

Assim, em realidades futuras, caso se registre alguma alteração significativa nos preços relativos dos insumos água e energia elétrica, os quais poderiam alcançar patamares que levem a grandes perdas ou ganhos no poder de compra das populações, a metodologia propõe que modelos sejam novamente calibrados adequando-os às novas realidades, para que então sejam utilizados novamente em estudos de projeções de demandas.

Perante os cenários de crescimento econômico demonstrou-se a proporção de investimentos em infraestrutura necessária a cada uma das atividades abordadas. Em sentido contrário, a proposta de se avaliar cenário de retração tencionou estudar situação na qual não se faz necessário investir em infraestrutura, mas sim configurando-se baixa remuneração à infraestrutura existente, decorrente de possível taxa de ociosidade dos sistemas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características socioeconômicas de Belo Horizonte e Porto Alegre

Inicialmente, visando a inferir o impacto da renda no consumo de água e de energia elétrica, identificou-se a distribuição atual das populações das duas cidades, segundo cada classe econômica, a partir de informações da ABEP (2010) sintetizadas na Tabela 5. Ressalta-se que esses últimos indicadores foram divulgados em 2010, estando referenciados de forma compatível ao período comparativo dos demais dados.

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 valor médio de 3,1. Analogamente, a população de Porto Alegre em 2010 atingiu 1.409.939 habitantes, com número médio de moradores por domicílio de 2,8 (IBGE, 2011). Tais valores foram empregados para estimativa da renda

Tabela 5 – Rendas familiares e distribuição da população segundo classes socioeconômicas

Classe econômica	Renda Familiar Mensal (R\$)	Distribuição da população (%)		
		BH	POA	Brasil
A1	14.366,00	0,6	0,2	0,6
A2	8.099,00	3,2	4,9	4,4
B1	4.558,00	7,7	11,3	9,1
B2	2.327,00	16,1	22,9	18,0
C1	1.391,00	24,2	27,0	24,5
C2	933,00	23,8	21,0	23,9
D	618,00	23,0	11,9	17,9
E	403,00	1,4	0,8	1,6

Fonte: ABEP (2010)



Tabela 6 – Número médio de moradores por domicílio, segundo classes socioeconômicas

Classe econômica	Média de moradores/domicílio	
	Belo Horizonte	Porto Alegre
A1	3,28	2,90
A2	3,26	2,86
B1	3,35	2,88
B2	3,28	2,87
C1	3,08	2,75
C2	2,70	2,46
D	2,70	2,46
E	2,14	1,99

Fonte dos dados: Censo Demográfico, IBGE (2010)

per capita para cada classe econômica, a partir da renda familiar apresentada na Tabela 7.

Ao contrário de que se possa imaginar, o número médio de moradores por domicílio não segue uma relação definida ou proporcional à renda média de cada classe socioeconômica. Dados do Censo 2010 (IBGE, 2010) para o município de Belo Horizonte apontam números médios de habitantes por domicílio variando de 2,14 para rendimentos familiares até R\$ 510,00; 3,35 para rendimentos entre 2.550,00 e R\$ 5.100,00; 3,26 para rendimentos partindo de R\$ 5.101,00 até R\$ 10.200,00 e 3,28 para rendimentos acima de R\$ 10.200,00.

Análogo comportamento dessa variável pode ser observado quando se apura o número médio de moradores por domicílio em cada classe social na cidade de Porto Alegre.

Não obstante, torna-se possível calcular por meio do aplicativo Banco Multidimensional de Estatísticas do IBGE, ou utilizando-se dos microdados do Censo 2010, o número médio de moradores por domicílio para cada faixa de rendimento familiar e para cada município desejado. A Tabela 6 mostra tais resultados obtidos para as oito classes adotadas nesta pesquisa.

Ressalta-se ainda que, os resultados finais dos consumos mostram-se extremamente próximos, em ambos os casos, mesmo utilizando-se o número médio de moradores por domicílio para cada município ou para cada classe socioeconômica, como pode

ser comprovado, quando se alimentam os modelos a partir da realidade mostrada pela Tabela 6.

Assim, diante dessa realidade, para efeito simplificador na montagem das tabelas de resultados deste artigo, adotou-se o número médio de moradores por domicílio obtido de forma ponderada para cada município estudado.

### Análise do consumo de água e de energia elétrica em Belo Horizonte e Porto Alegre

Da análise dos consumos micromedidos de água referentes ao período de agosto de 2003 a abril de 2009, depreende-se que Porto Alegre vivencia realidades de consumos superiores às de Belo Horizonte. Na capital gaúcha o consumo médio per capita de água (da ordem de 153 L/hab.dia e coeficiente de variação de 4,8%) supera em 13,3% o da capital mineira (135 L/hab.dia e coeficiente de variação de 3,9%).

Já no caso da energia elétrica – cujo período amostrado foi de janeiro de 2002 a abril de 2009 – a mesma afirmativa é válida, pois o consumo de energia vincula-se ao consumo de água. Porém, no caso do consumo médio per capita de energia elétrica a diferença eleva-se para 40%, igualmente com baixos coeficientes de variação 5,3% para Porto Alegre e 7,5% para Belo Horizonte. Os coeficientes são estatisticamente baixos e

Tabela 7 – Cálculo do consumo de água por classe socioeconômica em Porto Alegre

Classe Econômica	Renda Familiar Mensal (R\$)	Renda mensal <i>per capita</i> (R\$)	Consumo mensal de água (m³)
A1	14.366,00	5.131,00	720.733
A2	8.099,00	2.893,00	15.794.295
B1	4.558,00	1.627,00	32.108.373
B2	2.327,00	831,00	54.860.995
C1	1.391,00	497,00	55.680.055
C2	933,00	332,00	37.525.486
D	618,00	221,00	18.051.118
E	403,00	144,00	986.204
Total	1.411.338	---	6.471.818 (m³)

apontam para homogeneidade das amostras.

Consumos mais elevados verificados em Porto Alegre supostamente podem ser explicados pelo maior IDH-M (0,869 em relação a 0,840 de Belo Horizonte), como também pela distribuição da população segundo as classes sociais. Conforme a Tabela 5 evidencia, Porto Alegre apresenta 39,3% da população inserida nas classes A e B, enquanto que tal contingente reduz-se para 27,6% em Belo Horizonte. Portanto, por possuir maior população enquadrada em classe de maior poder aquisitivo, Porto Alegre há de demandar mais água e energia per capita em comparação a Belo Horizonte.

A evolução populacional e a disponibilidade dos dados segundo cada distrito operacional de Belo Horizonte viabilizaram o cálculo do consumo micromedido de água per capita, incluindo somente a categoria residencial. Considerou-se desta forma que esta variável derivada fosse a que melhor poderia se relacionar aos possíveis indicadores socioeconômicos intervenientes, e mais precisamente com o rendimento per capita da população.

Dando seqüência ao processo analítico do comportamento temporal das variáveis, passou-se a considerar o poder de compra de água por parte da população. Desta feita, os rendimentos per capita foram recalculados para que refletissem seu real valor em relação ao custo da água, ou seja, deflacionados de acordo com a inflação verificada no preço praticado pela Copasa.

Ao se aplicar os índices deflatores, percebeu-se que os rendimentos per capita dos distritos obtiveram de fato ganho bem modesto. Nas camadas socioeconômicas menos favorecidas, como nos distritos DTSO, DTNE e DTLE, registraram-se ganhos nos rendimentos da ordem de 5 a 20%. Já nos distritos mais favorecidos financeiramente, os ganhos de rendimento per capita elevaram-se para aproximadamente de 25 a 35%. Estes resultados permitem afirmar que, em se tratando do insumo água tratada em Belo Horizonte no período de março de 2002 a maio de 2009, as classes sociais mais abastadas tiveram seu poder de compra de água elevado em maior proporção que o aumento verificado nas classes sociais menos favorecidas. Em outras palavras, caso se considerasse apenas o componente água tratada como bem de consumo, a desigualdade do poder de compra da população teria aumentado em Belo Horizonte.

Da mesma forma, para o consumo de energia elétrica procedeu-se ao cálculo do consumo per capita medido, a partir da evolução populacional, 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, percebeu-se que as oscilações ocorrem de forma similar em todas as séries de dados, mesmo quando em base per capita, descartando-se distinção entre as regiões devido à sazonalidade.

Dando seqüência ao processo analítico do comportamento temporal das variáveis, 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.

Em oposição ao verificado para o insumo água, a aplicação dos deflatores permite afirmar que, em se tratando do insumo energia elétrica, durante o período observado em Belo

Horizonte, as classes sociais mais elevadas tiveram seu poder de compra de energia aumentado em menor proporção que o verificado nas classes sociais menos favorecidas. Em outras palavras, 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 no período de janeiro de 2002 a abril de 2009.

### Proposição e validação do modelo para estimativa do consumo de água

Dias et al. (2010) utilizaram os dados de renda per capita e consumo micromedido per capita, referentes ao período de julho de 2003 a setembro de 2006 em Belo Horizonte, defasando-os entre os meses de apuração da renda e do consumo efetivo. As defasagens entre os dados de cada variável cruzada foram, além do próprio mês de referência, os meses  $m-2$ ,  $m-1$ ,  $m+1$ ,  $m+2$  e  $m+3$ . Assim, considerando que o consumo micromedido de um mês qualquer é apurado, por intermédio da leitura do hidrômetro, no mês subsequente  $m+1$ , quando se dará de fato o pagamento da conta, a racionalização do consumo, por consequência da apuração do balanço financeiro da família, se daria no mês  $m+2$ , tendo seu efetivo resultado refletido na leitura do mês  $m+3$ . A justificativa para tal melhor ajuste prende-se à atitude do consumidor ao gerenciar mensalmente seu orçamento, de forma consciente ou não.

Como esperado, quando se consideraram os indicadores per capita de renda deflacionada com consumo residencial, obtiveram-se os resultados de regressão com maior significância. Levando-se em conta os resultados dos estudos e pesquisas científicas referenciadas na literatura sobre o consumo de água, o tipo de função mais indicada para representar um modelo de demanda seria o logarítmico. Tal afirmação fundamenta-se também no argumento de que a função logarítmica, além de gerar ajuste de curva com a melhor aderência à dispersão dos dados, prevê saturação do consumo nas faixas de alto rendimento per capita, dada sua característica assintótica. Observou-se que no geral não houve grandes variações entre os significativos coeficientes de determinação para função logarítmica (da ordem de 0,77), indicando assim estreita influência entre renda e consumo residencial de água, independentemente do mês de referência adotado. Não obstante, melhor ajuste deu-se quando a renda defasou-se do consumo em três meses ( $m+3$ ), atingindo  $R^2$  de 0,83 para o modelo exponencial.

A ampliação do universo amostral dos dados para abril de 2009 praticamente não resultou em alteração do modelo preditivo enunciado pela Equação 1 ( $R^2 = 0,771$ ):

$$Y = 47,058 * Ln(x) - 146,44 \quad (1)$$

Na qual:

$Y$  = Volume consumido de água per capita por dia (L/hab.dia);

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

A aplicação da Equação 1 para a estimativa do consumo em Belo Horizonte apontou resultado 2,74% inferior ao efetivamente mensurado pela Copasa em dezembro de 2006

(Dias et al., 2010).

Portanto, em termos generalizados espera-se afirmar que o consumo total domiciliar de água pode ser representado pela Equação 2:

$$Q = \sum_i^n P * (47,058 * \ln(x) - 146,44) \quad (2)$$

Na qual:

Q = Volume consumido total de água por dia (L./dia);

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

i = número de faixas socioeconômicas, variando de 1 a n.

Assim, pôde-se calcular parcela do consumo referente a cada uma das classes socioeconômicas, atribuindo-se o peso relativo decorrente do número de habitantes que as constituem. Na Tabela 7 apresentam-se os consumos de água por classe socioeconômica para Porto Alegre, admitindo-se para todas as classes mesmo número médio de habitantes por domicílio (2,8).

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 Porto Alegre informado pelo DMAE. A partir da análise dos dados no período amostrado infere-se média de consumo de água de 6.498.370 m<sup>3</sup>/mês. Tendo em vista que não foi registrada tendência de crescimento ou decréscimo desta média durante o período observado, pode-se adotar a referida média com representativa para efeito de análise. Desta forma, depreende-se erro equivalente de -0,4% entre o resultado calculado com o uso do modelo e realidade observada. Tal resultado permite afirmar que o modelo de projeção de consumo residencial de água, desenvolvido com os dados de Belo Horizonte, presta-se às atuais condições socioeconômicas de Porto Alegre.

### Avaliação de cenários futuros para demanda de água em Porto Alegre

A fim de se estudar futuros comportamentos e impactos nas demandas, avaliaram-se três cenários com distintas características socioeconômicas fiando-se nos dados de Porto Alegre. Cenário normal de crescimento econômico desejável pode ser projetado e, nesse caso, as classes A2 e B1 com tamanhos relativos de 10% e 23% da população, respectivamente, enquanto a classe C1 representaria 24,4% e as classes C2 e D reduzir-se-iam para 7,8% e 3% respectivamente. Neste cenário o consumo total do município subiria para 7.353.035 m<sup>3</sup>/mês, representando impacto sobre a rede de abastecimento de 13,7%, caso essa nova redistribuição socioeconômica se efetivasse.

Imaginando-se cenário de crescimento elevado, a distribuição de riqueza assemelhar-se-ia à de países desenvolvidos. Como consequência, as classes C2, D e E não ultrapassariam 11% da população, que teria 69% dos habitantes classificados como pertencentes à classe média alta, no estrato representado pelas classes A2, B1 e B2. Nesta nova realidade, o consumo domiciliar per capita de água médio da capital gaúcha atingiria 189 L/hab. dia, sendo que o volume total mensal atingiria 8.005.567 m<sup>3</sup>. Para este caso, a rede de abastecimento estaria sendo impactada

em 23,8% de sua capacidade de atendimento, se comparado aos níveis atuais de consumo de água.

Por fim, caso ocorra retrocesso econômico, os rendimentos das populações decresceriam em relação ao poder de compra da água e grande parte da população voltaria às categorias menos favorecidas. Nesse cenário as classes menos abastadas, correspondendo aos estratos C1, C2 e D, representariam 71% da população total. Nesta perspectiva pessimista, o atual sistema de abastecimento tornar-se-ia ocioso em 9,9% em relação a sua atual capacidade de operação. Tal redução não pode ser considerada relevante uma vez que os picos sazonais de consumo máximo e mínimo registraram magnitudes da ordem de 10%.

Em se tratando de abastecimento e distribuição de água, diante das simulações realizadas pode-se afirmar que os impactos mostram-se relativamente modestos, principalmente ao se considerar o cenário de crescimento normal projetado, sobre o qual o impacto na infraestrutura seria da ordem de 14%. A principal preocupação provavelmente deve recair às capacidades produtivas dos mananciais ora utilizados.

### Proposição e validação do modelo para estimativa da demanda de energia elétrica

Similarmente ao realizado para consumo de água, confrontações de dados e regressões foram realizadas incorrendo-se em diversos resultados intermediários visando à estimativa do consumo de energia elétrica. Avaliaram-se a correlação entre renda per capita deflacionada e consumo domiciliar total, entre a renda per capita absoluta e consumo domiciliar per capita, realizando-se também deslocamento temporal entre o mês de leitura do medidor e o mês efetivo de quitação da conta de energia elétrica. Ajustaram-se curvas logarítmicas, exponenciais e polinomiais, mas todas as tentativas apresentaram valores de R<sup>2</sup> menos significativos – variando de 0,62 a 0,72 –, comparados aos obtidos para consumo de água.

A partir do R<sup>2</sup> de 0,723, o consumo domiciliar de energia elétrica pode ser consequentemente representado pela Equação 3, aplicando-se a mesma em cada faixa socioeconômica estratificada de determinada população urbana.

$$Y = -0,0000005 x^2 + 0,0036 x + 0,2755 \quad (3)$$

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 4:

$$C = \sum_i^n P * (-0,0000005 x^2 + 0,0036 x + 0,2755) \quad (4)$$

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;

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

Da mesma forma, pôde-se calcular parcela do consumo referente a cada uma das classes socioeconômicas, atribuindo-se o peso relativo decorrente do total de habitantes pertencentes a cada uma das mesmas.

Com objetivo de se avaliar a consistência do modelo desenvolvido nesta etapa, pretendeu-se comparar o consumo total medido pela Cemig (Belo Horizonte) e pela CEEE (Porto Alegre), incluindo todas as agências operacionais, com o consumo virtual calculado por meio da aplicação da Equação 4.

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, e os valores das rendas relativas a cada segmento socioeconômico, novamente adotou-se a Tabela 5 (ABEP, 2010).

Utilizando tais dados socioeconômicos, procedeu-se aos cálculos relativos ao município de Belo Horizonte e, imediatamente após, aqueles referentes à capital porto-alegrense, conforme apresentado na Tabela 8. Novamente, por simplificação, adotou-se para Belo Horizonte 3,1 habitantes por domicílio e para Porto Alegre 2,8 habitantes por domicílio para todas as classes socioeconômicas.

Conforme dados informados pela Cemig, o consumo médio residencial de energia elétrica em Belo Horizonte atingiu 129.158.498 kWh/mês, pois, da mesma forma, não foram registradas tendências significativas de crescimento ou decréscimo dessa média durante o período observado. Portanto, pode-se

afirmar que o modelo apresentou resultado 10,2% superior ao valor real de consumo informado pela Cemig. Apesar de levemente discrepante, o resultado pode ser considerado dentro dos limites operacionais esperados para a variação de consumo relacionado a valores estimados.

Analogamente, o histórico do consumo médio real total de Porto Alegre, informado pela CEEE, aponta para 97.537.049 kWh/mês, e igualmente representativo pela mesma razão verificada para Belo Horizonte. Logo, pode-se afirmar que o modelo apresentou consumo projetado 8,2% superior ao valor real, da mesma forma, considerado dentro dos limites operacionais esperados para a variação de consumo relacionado a valores estimados.

Nos dois casos em epígrafe, faz-se possível tecer algumas suposições. A primeira que emerge refere-se à ampla gama de equipamentos eletroeletrônicos disponíveis no mercado, com díspares eficiências energéticas, o que possivelmente pode levar a maiores ou menores consumos,

conforme a tecnologia presente nos equipamentos adotados em cada família. Outra suposição é a de que equipamentos mais modernos hão de apresentar maior eficiência energética, conduzindo assim famílias com maior poder aquisitivo à possibilidade de relativa redução em seus consumos domiciliares, ainda que o espectro de equipamentos utilizados na residência tenda a crescer. 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 pode ser útil para subsidiar políticas ou orientar diretrizes voltadas ao planejamento energético em centros urbanos.

Por fim, fundamentado na mesma metodologia e nos mesmos dados socioeconômicos e de coleta de resíduos sólidos urbanos para Belo Horizonte - os últimos referentes ao período de abril de 2006 a novembro de 2010 -, elaborou-se também modelo de previsão da geração de resíduos sólidos (Dias et al., 2012). Na Tabela 9 sintetiza-se a validação dos modelos propostos para Belo Horizonte e Porto Alegre para os três insumos.

**Tabela 8 – Cálculo dos consumos mensais de energia elétrica por classe socioeconômica para Belo Horizonte e Porto Alegre**

Classe Econômica	População de Belo Horizonte (hab.)	Renda mensal <i>per capita</i> (R\$) para Belo Horizonte	Consumo para Belo Horizonte (kWh)	Consumo para Porto Alegre (kWh)
A1	14.251	4.634,00	88.654	15.745
A2	76.005	2.613,00	476.431	449.450
B1	182.887	1.470,00	820.623	766.520
B2	382.399	751,00	1.031.368	943.385
C1	574.787	449,00	1.029.501	738.982
C2	565.286	301,00	742.672	420.104
D	546.285	199,00	531.043	175.615
E	33.252	130,00	24.442	8.838
Total	2.372.152	---	142.341.990 (kWh)	105.559.170 (kWh)



Tabela 9 - Síntese das validações dos modelos de estimativa fundamentados nos dados socioeconômicos

Insumos	Água (m <sup>3</sup> /mês)		Energia Elétrica (kWh/mês)		Geração de Resíduos Sólidos (t/mês)	
	BH	POA	BH	POA	BH	POA
Estimado pelo modelo	9.951.055	6.498.370	129.158.498	97.537.049	44.705	29.002
Informado pela concessionária	9.686.136	6.471.818	142.342.049	105.559.177	42.371	29.129
Erro relativo (%)	- 2,6	- 0,4	+ 10,2	+ 8,2	- 5,2	+ 0,4

### Avaliação de cenários futuros para demanda de energia elétrica em Porto Alegre

Para a energia elétrica, em cenário normal de crescimento econômico com as mencionadas participações das classes A2 (10%), B1 (23%), C1 (24,4%), C2(7,8%) e D (3%), o consumo domiciliar total do município subiria para 142.314.235 kWh/mês, representando impacto sobre a rede de distribuição de energia de 34,8% em relação ao consumo atual.

Já no segundo cenário projetado de otimismo elevado, o consumo médio domiciliar per capita de energia elétrica da capital gaúcha atingiria 4,1 kWh/hab.dia, semelhante a países como Estados Unidos, Canadá ou Suécia. Para este caso, a demanda de potência domiciliar total mensal chegaria a 173.517.940 kWh, elevando em 64,4% de sua capacidade de atendimento.

Por fim, em se tratando de retrocesso econômico, no qual o poder de compra da energia elétrica decresceria, a demanda domiciliar total de energia elétrica em Porto Alegre ficaria em torno de 84.233.317 kWh/mês, apontando para ociosidade de 20,2% da atual capacidade instalada.

### CONCLUSÕES

Diante da revisão da literatura e dos resultados desta pesquisa, infere-se que, no âmbito domiciliar, prováveis interferências no consumo de água e de energia elétrica são causadas por mudanças nos hábitos, comportamentos ou atitudes dos moradores decorrentes da alteração dos rendimentos familiares. Como efeito ilustrativo, pode-se imaginar que uma família ao obter maior renda passe a demandar maiores quantidades de bens ou serviços, adotando hábitos que por sua vez levariam indiretamente a maior consumo de água e de energia elétrica, podendo frequentemente concorrer para maior geração de resíduos.

A análise dos resultados obtidos pelos modelos evidenciou a renda como principal variável explicativa, sendo que os demais fatores intervenientes representam baixo impacto e menor reflexo nas demandas domiciliares dos insumos em questão, haja vista a magnitude da influência sazonal nos consumos de água e de energia elétrica. Nesse contexto, a baixa magnitude dos erros relativos permite afirmar que os modelos desenvolvidos para explicar o comportamento do consumo domiciliar urbano de água e de energia elétrica, desenvolvidos com os dados de Belo Horizonte, representaram satisfatoriamente o comportamento das demandas do município de Porto Alegre.

Tendo em vista os coeficientes de determinação encontrados, os modelos poderão provavelmente contribuir para estudos e projeções de demandas aplicadas em outras regiões metropolitanas brasileiras, uma vez que os consumos de água e de energia elétrica serviriam como parâmetros comparativos e análises cruzadas de demandas entre insumos ou regiões investigadas.

Em segunda vertente, os resultados obtidos permitem especular que evolução da população entre as classes sociais não se daria de forma sustentável, caso não se observem investimentos na infraestrutura necessária para atendimento das demandas estimadas sob os cenários socioeconômicos futuros projetados. Por fim, os esforços para distribuição de renda e enriquecimento das populações poderiam tornar-se inócuos, caso registrem-se estrangulamentos ou limitações nas infraestruturas de distribuição de água e de energia elétrica.

### RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a continuidade da obtenção 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. Neste viés, a base de dados desta pesquisa permite avaliar a distribuição socioeconômica das populações do Recife, Salvador, Rio de Janeiro e São Paulo, restando para tal a obtenção dos dados de consumo de água e de energia elétrica.

Recomenda-se também a continuidade da obtenção dos dados históricos de consumo de água e de energia elétrica para se aumentar o horizonte amostral, como também a aplicação da metodologia em outras regiões, para que no futuro resultados mais precisos e conclusivos possam ser obtidos para diversas regiões e cenários econômicos. Os resultados obtidos pelo trabalho endossam a recomendação no sentido de que a mesma metodologia seja aplicada não somente às demais áreas metropolitanas brasileiras, mas também sobre outros insumos, permitindo assim comparações e validações entre distintas áreas geográficas do Brasil. Da mesma forma, torna-se desejável análise para as demais categorias de consumo de água e de energia elétrica, como comercial, industrial e pública.

Finalmente, considerando a desejável a validação dos modelos em outras localidades, ressalta-se que tal procedimento torna-se dependente da disponibilidade de dados socioeconômicos representativos de cada região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à Copasa, à Cemig, ao DEMA e à CEEE - pela cessão dos dados que subsidiaram a pesquisa -, à Fapemig (no contexto do Programa Pesquisador Mineiro), ao CNPq, pela concessão da bolsa de Produtividade em Pesquisa aos orientadores, e ao IBGE pelo apoio institucional dispensado à realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. Critério de Classificação Econômica Brasil. São Paulo, SP: <http://www.abep.org/default.aspx?usaritem=arquivos&iditem=23>> Acesso em: 25 de novembro de 2010.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. Journal Main Stream, n. 10, v. 43, Oct. 1998.
- DIAS, D. M. MARTINEZ, C. B. BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v.17, n.3, p.325-332, 2012.
- DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNIO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.155-166, 2010.
- ELETROBRAS – Eletrobras Holding S. A. “Procel Sanear”. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp>> Acesso em: 04 de julho de 2011.
- FERNANDES NETO, M. L.; NAGHETTINI, M.; VON SPERLING, M.; LIBÂNIO, M. Assessing the relevance of intervening parameters on the per capita water consumption rates in Brazilian urban communities. *Water Science & Technology: Water Supply*, v.1, n.5, p.9-15, 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco Multidimensional de Estatísticas (BME). <<http://www.bme.ibge.gov.br>> Acesso em 15/08/2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Mensal do Emprego. <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pme\\_nova/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pme_nova/default.shtm)> Acesso em 06/08/2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares. <[http://www.ibge.gov.br/home/xml/pof\\_2008\\_2009.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/xml/pof_2008_2009.shtm)> Acesso em 10/08/2010.
- MARA, D.; ALABASTER, G. A new paradigm for low-cost urban water supplies and sanitation in developing countries. *Water Policy*, v.10, n.2, p.119-129, 2008.
- MONTGINOUL, M.; RINAUDO, J.; LAJONQUIÈRE, Y.; GARIN, P.; MARCHAL, J. Simulating the impact of water pricing on household behavior: the temptation of using untreated water. *Water Policy*, v.7, n.5, p.523-541, 2005.
- NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. “Atlas National Geographic”. São Paulo: Ed. Abril, SP, 2008.
- PMBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Regionais e Bairros Populares. Prodabel – Belo Horizonte, 2007.
- UN – United Nations. Trends in Sustainable Development - Chemicals, mining, transport and waste management. Department of Economic and Social Affairs, New York, 2010. <[http://www.un.org/esa/dsd/resources/res\\_publtrends\\_2010\\_topics.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/resources/res_publtrends_2010_topics.shtml)> Acesso em 31 de outubro de 2011.
- ZHOU, S. L.; Mc MAHON, T. A.; WANG, Q. J. Frequency Analysis of Water Consumption for Metropolitan Area of Melbourne, *Journal of Hydrology*, v. 247, p.72-84, 2001.

### ***Modeling household water consumption and electricity demand in urban areas based on socioeconomic variables***

#### **ABSTRACT:**

*An accurate estimate of per capita residential consumption is crucial to determine the household demand for electricity and water supply accurately. In this context, the paper deals with the proposal of two models for predicting water and electricity consumption, developed based on socioeconomic variables. For this development per capita incomes and water and electricity consumptions were compared in neighborhoods of operational districts in Belo Horizonte. After calculating the derived variables and consolidations, analyses and regressions were conducted in order to obtain the best correlations between explanatory and dependent variables, adjusting curves that denoted the best adherence of the data. To validate the models, a Brazilian capital with an HDI and per capita income higher than the national average was selected as an indicator of a future possible socioeconomic development scenario for Brazil. In this way, the proposed models were validated for the reality of Porto Alegre showing the intrinsic relation between per capita income and household consumption of water and electricity. The equivalent errors between the monthly values estimated by the models and those that actually occurred, respectively for Belo Horizonte and Porto Alegre, were -2.6 % and -0.4 % for water demand, and +10.2 % and +8.2 % for electricity. The low magnitude of the errors allows estimating the use of the methodology and the resulting models in other Brazilian cities.*

**Keywords:** *Water consumption. Electric energy demand. Per capita income.*