

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ESTIMATIVA DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA, ENERGIA ELÉTRICA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRASIL, POR MEIO DE MODELOS EXISTENTES

## ESTIMATION OF RESIDENTIAL CONSUMPTION OF WATER, ELECTRIC POWER AND GENERATION OF SOLID WASTE FOR THE MUNICIPALITY OF BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRAZIL, USING EXISTING MODELS

Recibido el 24 de octubre de 2024. Aceptado el 22 de abril de 2025

### Abstract

Previous studies have verified the relationship between economic issues and water and energy consumption and the generation of solid waste. Estimating these parameters can help in formulating public policies, making decisions regarding environmental protection, etc. Thus, the objectives of this study were: i) correlational socioeconomic aspects of the population sampled in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, and their domestic consumption of water and electricity, as well as generation of solid waste through models developed in studies previous; ii) make a comparison with current real data presented by the bodies responsible for the management and handling of water, energy and solid waste. It was found that the models need to be recalibrated. However, per capita estimates of water consumption and solid waste generation presented values associated with those recorded by the responsible bodies, in all economic classes evaluated. Although it has been verified that the model needs recalibration, the present study is the first step towards resuming work with this approach. The use of studied models would facilitate analysis and decision-making in the provision of services related to water and energy consumption, as well as the generation of solid waste.

**Keywords:** water consumption, electricity consumption, solid waste generation, per capita income, model evaluation.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Coordenação-Geral de Operações Censitárias, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil.

\*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. 31270-901. Brasil. Email: [ambiental.cordeiro@gmail.com](mailto:ambiental.cordeiro@gmail.com)

## Resumo

Estudos prévios verificaram a relação entre questões econômicas e o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos. Estimar estes parâmetros pode auxiliar na formulação de políticas públicas, tomada de decisões referentes à proteção do meio ambiente, etc. Desta forma, os objetivos deste estudo foram: i) correlacionar aspectos socioeconômicos da população amostrada em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, e seu consumo doméstico de água e de energia elétrica, bem como geração de resíduos sólidos por meio de modelos desenvolvidos em estudos prévios; ii) fazer uma comparação com dados atuais reais apresentados pelos órgãos responsáveis pela gestão e manejo de água, energia e resíduos sólidos. Foi possível constatar que os modelos precisam ser recalibrados. No entanto, as estimativas per capita de consumo de água e geração de resíduos sólidos apresentaram valores associados aos registrados pelos órgãos responsáveis, em todas as classes econômicas avaliadas. Apesar de ter sido verificado que o modelo necessita de recalibração, o presente estudo trata-se do primeiro passo para que sejam retomados trabalhos com este enfoque. A utilização dos modelos analisados facilitaria a análise e tomada de decisão na prestação de serviços relacionados ao consumo de água e energia, assim como geração de resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** consumo de água, consumo de energia elétrica, geração de resíduos sólidos, renda *per capita*, avaliação de modelo.

---

## Introdução

Nas últimas décadas, as questões e os desafios ambientais estão cada vez mais em pauta, principalmente em relação aos impactos socioambientais adversos provocados pelas atividades antrópicas e às inseguranças sobre cenários futuros. Apesar de ainda vivermos em uma sociedade baseada no intenso consumo de recursos naturais e na geração de resíduos, a conscientização sobre essa problemática não é recente. Tendo iniciado, com maior magnitude, no final do século XX, destacando-se a realização de eventos como a Conferência de Estocolmo em 1972 e a Rio 92 (Silva, 2020).

Embora não seja um assunto atual, ainda assim, a atenção às perspectivas ambientais não é considerada uma prioridade nas comunidades humanas. Geralmente, esta temática é avaliada principalmente por atividades econômicas, o que é relevante visto que são as maiores geradoras de impactos ambientais adversos. No geral, este fato não tem relação expressiva com uma real consciência de responsabilidade própria das corporações, mas sim uma pressão cada vez maior ocasionada pela comunidade em geral e por organismos internacionais ligados ao meio ambiente. Por parte das corporações, isto ocorre por meio do marketing verde, incumbências legislatórias ou incentivos fiscais, bem como pela prática chamada de *greenwashing*.

Observa-se em diversas partes do mundo uma maior tendência à ocupação de espaços urbanos em detrimento das áreas rurais. Este fenômeno também pode ser notado no Brasil, no qual, conforme a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015), 84.72% da população residia nas cidades.

O estilo de vida existente nesses locais urbanos está relacionado a impactos ambientais adversos, atrelados a, por exemplo, maiores demandas de energia elétrica, de água, além do manejo e disposição de resíduos, dentre outros. As questões de serviços de abastecimento de água e luz são preponderantes, assim como tratamento de efluentes e resíduos sólidos. É importante considerar que esta situação é agravada pelo crescimento econômico e demográfico e avanços tecnológicos (Bayer *et al.*, 2022; Dias *et al.*, 2012).

Ao atender estas questões, os prestadores de serviços públicos, muitas vezes, adotam práticas inadequadas ambientalmente, como disposição de resíduos em lixões, lançamento de efluentes sem tratamento em corpos hídricos, dentre outras. (Oliveira *et al.*, 2021).

Este fato, alinhado às pressões ocasionadas pelo ser humano ao meio ambiente, vem levando ao agravamento da insustentabilidade geral. As cidades representam um ambiente hostil para a natureza e para as pessoas que nela vivem, principalmente àquelas com menor renda. Estas estão passíveis de viverem em locais com riscos de inundações, com a presença de esgotamento não tratado, dentre outras situações de vulnerabilidade. Porém, a problemática ambiental no meio urbano vem ultrapassando a barreira econômica, de forma que até mesmo a população mais abastada se encontra passível de sua influência (Oliveira *et al.*, 2021).

O Brasil insere-se dentre o grupo de sete países da América Latina que necessitam de investimentos em infraestrutura urbana. Os principais problemas a serem enfrentados referem-se à mobilidade urbana, mau planejamento, poluição, vulnerabilidade à desastres naturais, falta de conformidade com leis trabalhistas, desemprego, crimes e baixa capacidade institucional e fiscal (Monteiro, 2021).

Alguns destes se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais, necessitarão de investimentos de UR\$ 5 a 7 trilhões por ano até 2030. E, devido ao grande enfoque em atender questões de desenvolvimento sustentável, acredita-se que, em longo prazo, os ODS propiciarão em novos regulamentos para favorecer investimentos neste sentido (Monteiro, 2021).

No que tange à problemática da geração de resíduos sólidos, Alzamora *et al.* (2022) apontam ao fato do desafio ser maior em países em desenvolvimento. Isto se deve a uma cultura menos avançada em relação à questões ambientais, menos recursos econômicos e aspectos jurídicos com maior fragilidade.

No mundo como um todo, em relação aos aspectos legais que abordam esta temática, é possível verificar grande variação. Países como o Brasil e Estados Unidos da América, normalmente, adotam Leis nacionais que devem ser aplicadas em todo o território, porém suas unidades federativas possuem poder de criar suas próprias legislações a serem aplicadas em suas fronteiras, diferentemente da China, por exemplo, em que há apenas uma norma que deve ser seguida em todo

o país. Porém, na maioria dos casos, a responsabilidade pela gestão de resíduos sólidos está no âmbito dos municípios, os quais devem vivenciar os desafios deste manejo, destacando-se a dificuldade de mensuração e obtenção de dados confiáveis. Os desafios relacionados aos dados afetam a administração do problema, como o planejamento de cenários futuros e cobranças pela gestão (Alzamora *et al.*, 2022).

Ao contrário do fornecimento de eletricidade e água, a geração de resíduos sólidos não pode ser diretamente mensurada ao nível individual, sendo este um complexo desafio. Neste caso, para gestão, normalmente, são adotados modelos para estimativas baseadas em dados socioeconômicos, como população, renda, Produto Interno Bruto (PIB), nível educacional e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Alzamora *et al.*, 2022; Beigl *et al.*, 2008).

O consumo de água nos diversos setores também representa um desafio para os gestores, buscando-se uma equivalência entre demanda e oferta, bem como buscando a redução deste consumo. Quando se trata de ações neste último quesito, autoridades focam em propostas de educação ambiental sobre a conservação, proteção de recursos hídricos, controle de vazamentos no abastecimento e gestão direcionada na crescente demanda. Entender os padrões de consumo de água permite uma gestão eficaz, possibilitando mitigar a escassez desse recurso essencial e outros fatores relevantes (Tangworachai *et al.*, 2023).

Por fim, a energia elétrica representa um símbolo da civilização atual. Estando presente em diversos aspectos da vida moderna devido à conveniência do seu uso, preços razoáveis e menor poluição quando comparada às metodologias de obtenção de energia anteriormente mais empregadas. O consumo elétrico está atrelado, em âmbito macro e micro, a diversos fatores. Em países em desenvolvimento, alguns estudos apontam como fatores determinantes: tamanho econômico do país, os preços de eletricidade praticados e os custos de tecnologias alternativas para obtenção de energia, bem como as variáveis de população, urbanização e industrialização (Onisanwa e Adaji, 2020; Wang *et al.*, 2022).

Diversos estudos anteriormente realizados demonstram haver relação entre questões econômicas e o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos. Conforme Amaral *et al.* (2022), o poder aquisitivo, o custo e a necessidade de um bem interferem em seu consumo. Em suas análises, estes autores citaram estudos envolvendo a utilização do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e a renda *per capita* pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para prever o consumo domiciliar de energia elétrica no Brasil. Os autores confirmaram que o aumento da qualidade de vida propicia aumento no consumo de eletricidade.

Existem, ainda, estudos que buscam verificar os impactos do crescimento econômico na qualidade do meio ambiente por meio da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) proposta por Grossman e Krueger

de 1991. Assim como a teoria da qual se baseia (Curva de Kuznets, 1955), a curva CKA propõe haver uma relação próxima a um “U” invertido entre estes aspectos. Ou seja, ocorre um aumento de um dado impacto ambiental com o crescimento econômico de um local, principalmente em países com baixos níveis de renda *per capita*; com a intensificação deste crescimento, até um certo patamar, os locais passam a dar maior valor para a qualidade ambiental, fazendo com que esta emissão de poluentes diminua. Esta análise já foi realizada para diversos impactos ambientais, como emissão de poluentes no ar, poluição das águas, desmatamento. Bayer *et al.* (2022) buscaram analisar o impacto do crescimento econômico na geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil. Foi possível concluir a correlação CKA para geração de resíduos sólidos domiciliares *per capita*, sendo o *Turning Point* em 198 mil reais.

Estimar estes parâmetros representa uma importante contribuição, tais como auxílio na formulação de políticas públicas, tomada de decisões referentes à proteção do meio ambiente e o crescimento econômico e ampliação de sistemas de abastecimento de água (Bayer *et al.*, 2022; Dias *et al.*, 2010; Rosa, 2022).

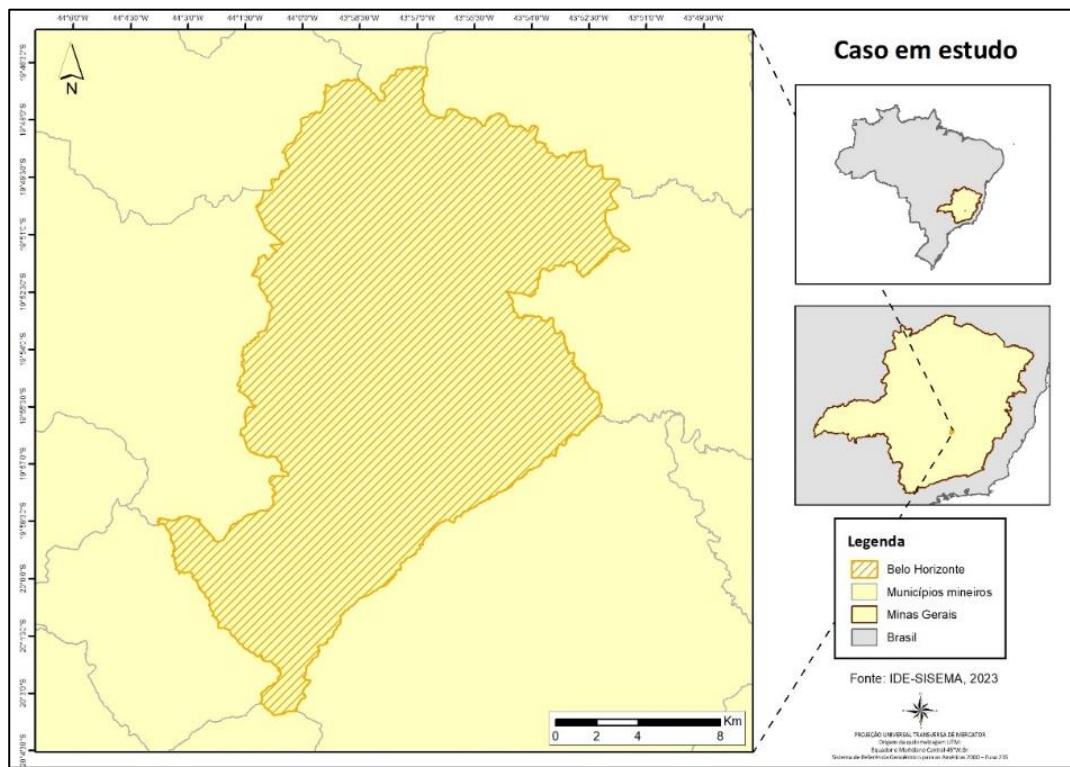
Nesse amplo contexto, o presente estudo buscou aplicar e avaliar modelos desenvolvidos em estudos prévios para prever, a partir da renda média *per capita*, a geração residencial de resíduos sólidos presente no estudo de Dias *et al.* (2012), bem como avaliar o consumo doméstico de energia e de água do trabalho de Dias *et al.* (2014). Estes modelos são baseados na renda, classificação, tamanho e distribuição econômica da população estudada (Dias *et al.*, 2012). Foram objetivos do estudo: i) correlacionar aspectos socioeconômicos da população amostrada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, e seu consumo doméstico de água e de energia elétrica, bem como geração de resíduos sólidos; ii) fazer uma comparação com dados atuais reais apresentados pelos órgãos responsáveis pela gestão e manejo de água, energia e resíduos sólidos.

## Metodología

### Área de estudio

A análise foi conduzida tendo como base as condições existentes no município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, localizada na região sudeste brasileira, conforme mostrado na Figura 1.

Na cidade de Belo Horizonte, o serviço de tratamento e abastecimento de água é realizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. Conforme declarado por esta autarquia junto ao Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), em 2020, o consumo médio de água *per capita* foi de 156.20 L/(hab.dia). Existe um índice médio de perdas em um nível de 42.96%, sendo a tarifa média de R\$ 6.15 por m<sup>3</sup>. Quase a totalidade do município possui a canalização interna em pelo menos um cômodo (97.73%) (INFOSANBAS, 2023).



**Figura 1.** Mapa da localização do município de Belo Horizonte em relação ao estado de Minas Gerais e o Brasil. Fonte: Autoria própria.

Em relação ao fornecimento de energia elétrica municipal, este serviço é prestado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, sediada há cerca de 70 anos no município. Atualmente, a empresa é responsável pela distribuição e comercialização de energia e gás natural para outros municípios mineiros e do estado do Rio de Janeiro, Brasil (CEMIG, 2021).

Já gestão de resíduos sólidos é conduzida pela Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Há cobrança pela coleta, transporte e destinação final destes resíduos mediante um percentual específico no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) cobrado anualmente (INFOSANBAS, 2023).

#### Levantamento de dados

Os dados de consumo de energia elétrica e água foram obtidos junto às Concessionárias que atendem o município de Belo Horizonte, qual sejam a CEMIG e a COPASA MG, respectivamente. Os dados de geração de resíduos sólidos para a cidade são disponibilizados pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) no Portal de Dados Abertos da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Foram empregados

os dados mais recentes no final de 2022 para água e energia elétrica, quanto aos dados fornecidos pela SLU, são referentes ao ano de 2021.

Os dados de resíduos sólidos da SLU empregados foram referentes às coletas de Resíduos Domiciliares (RDO). Considera-se que estes dados sejam inferiores à geração real, visto que parte dos resíduos não é coletada, não sendo, assim, computada. Além disso, existe a ocorrência da reciclagem não oficial, que pode mascarar os resultados.

Devido à diferença na forma de desagregação dos dados disponíveis, optou-se pela análise do consumo e da geração média de resíduos para o município como um todo.

#### Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe e por habitante

Tomando como base o método aplicado por Dias *et al.* (2012) e Dias *et al.* (2014), os dados socioeconômicos adotados para a população foram baseados no estudo “Critério de classificação econômica Brasil: Alterações na aplicação do critério Brasil, válidas a partir de 01/06/2022” elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), estas informações foram empregadas para estimativa da distribuição da população do município em classes relativas à renda familiar mensal.

Esta escala de classes possui grande similaridade com a empregada pelo Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, a qual possui grande aceitação no meio econômico e permite avaliar o poder aquisitivo para cada segmento da população (Dias *et al.*, 2010). Conforme a fonte consultada, a população pode ser dividida em seis classes econômicas de acordo com renda familiar mensal. Este estudo apresenta uma estimativa do percentual de indivíduos presentes em cada uma destas classes, tal como observa-se na Tabela 1. Atualmente, devido à grande semelhança entre as categorias “D” e “E” e a dificuldade de mensurar “E” separadamente, ocorreu a junção destas classes como “D-E” (OPUS, 2018).

**Tabela 1.** Renda familiar mensal estimada para cada classe econômica da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Classe econômica	Renda familiar mensal (R\$)	Distribuição população
A	21826.74	8.1%
B1	10361.48	7.6%
B2	5755.23	20.6%
C1	3276.76	22.2%
C2	1965.87	25.1%
D – E	900.6	16.4%

Fonte: ABEP, 2022.

A partir destes dados e, correlacionando à população belorizontina estimada em 2,530,701 pessoas para 2021, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, foi possível estimar o quantitativo de pessoas inseridas em cada uma destas classes econômicas. Para as análises, foram considerados, ainda, 3.1 habitantes por domicílio, tal como empregado no estudo realizado por Dias *et al.* (2014) e que refere-se ao quantitativo médio informado no Censo Demográfico de 2010 para o município em estudo.

#### Análise do consumo de água

Para estimativa do consumo de água e energia, foram empregados os modelos elaborados por Dias *et al.* (2014), que consideram variáveis econômicas, como renda *per capita*. A fórmula proposta para consumo de água é a representada pela Equação (1):

$$Q = \sum_i^n P * (47.058 * \ln(x) - 146.44) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

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;

P = População estimada para a classe.

#### Análise do consumo de energia elétrica

Para estimativa do consumo energético, estes autores propõem a Equação (2):

$$C = \sum_i^n P * (-0.0000005x^2 + 0.0036x + 0.2755) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

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

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

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

P = População estimada para a classe.

#### Análise da geração de resíduos sólidos

Para estimativa da geração de resíduos sólidos, Dias *et al.* (2012) propõem a equação (3):

$$G = \sum_i^n P * (-0.00000005x^2 + 0.0006x + 0.2848) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

G = Quantitativo total produzido de resíduos sólidos domiciliar por dia (kg/dia);

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

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

P = População estimada para a classe;

Os dados obtidos foram computados e analisados em planilha Excel.

## Resultados e discussão

### Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe e por habitante

O estudo elaborado pela ABEP (2022) é baseado no Levantamento Socioeconômico (LSE) do Kantar IBOPE Média, elaborado no ano de 2021 para 9 regiões metropolitanas brasileiras, qual sejam: Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Salvador, Recife e Fortaleza). Com base nessa fonte de consulta, a Tabela 2 demonstra a distribuição percentual e estimada para cada classe no município em estudo, considerando a população total estimada pelo IBGE no ano de 2021 de 2,530,701 pessoas.

**Tabela 2.** Distribuição da população de Belo Horizonte/MG por classe

Classe econômica	Distribuição população	n° pessoas
A	8.1%	204987
B1	7.6%	192333
B2	20.6%	521324
C1	22.2%	561816
C2	25.1%	635206
D – E	16.4%	415035

A partir dos dados contidos na Tabela 2, verifica-se que as classes econômicas com maior presença de pessoas são as classes C2, C1 e B2 que somadas, equivalem a mais de 67.9% da população de Belo Horizonte. Com uma renda média mensal familiar variando entre R\$ 1,965.87 e R\$ 5,755.23. Estes valores são baseados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNADC) feita pelo IBGE no ano de 2021 e, neste período, o salário mínimo vigente no Brasil era de R\$ 1,100.00. Isso demonstra a prevalência de mais da metade da população da capital mineira vivendo entre 1.8 e 5.2 salários mínimos, enquanto menos de 10% dos moradores de Belo Horizonte possuem uma renda média de 19.4 salários mínimos.

Para o município de Belo Horizonte, o Censo Demográfico de 2010 estima um número médio de 3.1 moradores por domicílio, valor que foi considerado nas análises. Na Tabela 3 é apresentada a renda mensal *per capita* calculada considerando este quantitativo de moradores por residência e a renda familiar mensal para cada classe informada pelo estudo da ABEP. Seguindo o modelo proposto, considerou-se, também, hipoteticamente, que todos os moradores da residência trabalham e possuem rendimentos.

Os dados apresentados na Tabela 3 demonstram que uma pessoa pertencente à classe econômica “A”, no município de Belo Horizonte, recebe como salário cerca de vinte e quatro vezes mais do que uma pessoa pertencente às classes “D-E”. Além disso, percebe-se que a parcela da população

pertencente nas classes “C1”, “C2” e “D-E” recebiam menos do que um salário mínimo vigente na época do levantamento.

**Tabela 3.** Renda mensal *per capita* estimada de Belo Horizonte/MG base ano 2022

Classe econômica	Renda Familiar mensal	Renda mensal <i>per capita</i>
	R\$	R\$
A	21,826.74	7,040.88
B1	10,361.48	3,342.41
B2	5,755.23	1,856.53
C1	3,276.76	1,057.02
C2	1,965.87	634.15
D - E	900.60	290.52

Para as estimativas demonstradas nos itens a seguir, foram empregados os dados de renda mensal *per capita* estimados e apresentados na Tabela 3. Estes valores, associados às equações 1, 2 e 3, serviram para estimar o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos.

#### Análise do consumo de água

Com base nos dados de renda mensal *per capita* para cada classe indicada na Tabela 3 e usando a equação (1), foi possível estimar o consumo diário de água *per capita* e o consumo mensal em Belo Horizonte/MG para cada uma das classes econômicas, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Consumo diário de água *per capita* e volume consumido por mês para cada classe econômica em Belo Horizonte/MG

Classe econômica	Volume consumido de água <i>per capita</i> por dia	Volume consumido por mês
	(L/hab.dia)	(m <sup>3</sup> )
A	270.47	1,663,282.21
B1	235.41	1,358,313.60
B2	207.74	3,249,001.98
C1	181.23	3,054,613.83
C2	157.19	2,995,474.46
D – E	120.46	1,499,815.17

É possível verificar a partir dos resultados mostrados na Tabela 4 que o modelo apresentou uma estimativa de consumo *per capita* de Belo Horizonte/MG variando de 120.46 a 270.47 L/hab.dia. Este dado possui proximidade com os dados enviados pela COPASA, que informam um consumo médio de 123.8 L/hab.dia para o município de Belo Horizonte/MG. Como há maior percentagem de pessoas

presentes nas classes econômicas de menor renda, é esperado que o valor médio para todo município esteja próximo a este quantitativo.

O somatório de volume consumido por mês para todas as classes equivale a 13,820,501.26 m<sup>3</sup>, sendo o dado real apresentado pela concessionária de 9,389,933 m<sup>3</sup>. Assim, o dado estimado pelo modelo apresenta um valor de consumo 47% maior em relação aos dados atuais disponíveis. Quanto a este aspecto, sugere-se que os modelos propostos por Dias *et al.* (2014) deveriam sofrer atualizações periódicas para recalibração. Devido ao longo tempo desde sua concepção, esta diferença nos resultados obtidos indica que a equação (1) necessita de modificações nas constantes de sua formulação.

No estudo de 2014, o valor estimado pelo modelo foi de 9,951,055 m<sup>3</sup>/mês e o informado pela concessionária foi de 9,686,136 m<sup>3</sup>/mês, havendo um erro relativo de 2.6 %, bem inferior ao atualmente obtido.

Percebe-se assim que, houve um decréscimo de consumo de água tratada entre 2022 e 2014, na cidade de Belo Horizonte, uma vez que o valor informado atualmente pela COPASA ficou 3% menor. Uma observação a ser considerada, é o emprego cada vez maior de hidrômetros individualizados nos condomínios, resultando assim em um uso mais racional do consumo domiciliar.

Grespan *et al.* (2022) avaliaram variáveis socioeconômicas e demográficas, características construtivas e comportamental dos moradores de Joinville, outro município brasileiro, e a sua relação com o consumo de água desta população. As amostras possuíam um consumo *per capita* médio de 143.67 L/hab.dia, pouco superior ao informado pela COPASA para a capital mineira. Em relação aos aspectos socioeconômicos, a renda *per capita* apresentou impacto significativo no consumo de água. Os pesquisadores apontaram como possível causa o fato de que, para aquelas famílias com menores rendimento, um maior consumo pode levar a mais gastos ao ter que arcar com o que foi consumido, desta forma, tendem a se controlar quanto a este aspecto. Por outro lado, famílias com maiores rendimentos possuem outros aspectos que atingem mais significativamente suas despesas, sendo o consumo de água uma parte menos relevante.

Nesse mesmo trabalho, os pesquisadores verificaram, também, a influência de outros parâmetros que afetam positivamente e negativamente o consumo de água. São eles o número de residentes, a quantidade de crianças e adolescentes na moradia, características construtivas e idade do imóvel, equipamentos existentes nas moradias e situação da propriedade (como o fato de ser alugado, próprio ou hipotecado) (Grespan *et al.*, 2022).

Outra pesquisa, utilizando dados da Tailândia, demonstra que o aspecto que possui maior peso em relação ao consumo no país são os valores das tarifas cobradas, sendo que quanto maiores, mais inibem a demanda residencial (Tangworachai *et al.*, 2023).

#### Análise do consumo de energia elétrica

De modo análogo ao item anterior, foi possível a elaboração da Tabela 5, para qual foi empregada a equação (2).

**Tabela 5.** Consumo diário de energia elétrica *per capita* e consumo mensal por classe econômica em Belo Horizonte/MG

Classe econômica	Consumo diário de energia <i>per capita</i> (kWh/hab.dia)	Consumido de energia elétrica por mês (kWh)
A	0.84	5,138,972.03
B1	6.72	38,787,800.48
B2	5.24	81,884,146.09
C1	3.52	59,363,540.70
C2	2.36	44,922,495.45
D - E	1.28	15,926,862.00

Conforme mostrado na Tabela 5, o modelo permitiu estimar um consumo diário de energia *per capita* em Belo Horizonte/MG variando de 0.84 a 6.72 kWh/hab.dia. Porém, os dados atuais disponibilizados pela CEMIG indicam um consumo médio para o município de 1.63 kwh/hab.dia. Além disso, o consumo total estimado por mês foi de 246,023,816.73 kWh, enquanto o valor médio real foi de 136,709,555.42 kwh/mês. Neste caso, o erro chegou a, aproximadamente, 80%, estando mais distante, ainda, da realidade atual.

Dias *et al.* (2014) obtiveram um erro relativo de 10.2% para energia elétrica, o que foi considerado um pouco discrepante na ocasião, porém dentro dos limites operacionais esperados. Destarte, pode-se afirmar que no caso do modelo para consumo de energia elétrica, necessariamente o mesmo deve ser recalibrado.

Outro aspecto a ser considerado, que certamente impacta no modelo de projeção, seria a utilização em larga escala de lâmpadas de LED, dentre outros dispositivos mais modernos como geladeiras e demais equipamentos, os quais são expressivamente mais econômicos em relação às lâmpadas incandescentes e demais eletrônicos. Tudo isso corrobora à indicação para revisão dos parâmetros da equação.

Dokas *et al.* (2022), ao avaliarem os fatores determinantes no consumo de energia e eletricidade em países desenvolvidos e em desenvolvimento, verificaram forte correlação com PIB *per capita* para

cada amostra e metodologia econométrica, sendo esta variável mais forte em países desenvolvidos. Os autores informaram que, à medida que um país cresce economicamente, há maior demanda por energia, conforme esperado. Outros fatores encontrados que podem ocasionar em aumentos no consumo de energia em países desenvolvidos são investimentos, crescimento populacional e temperaturas no inverno. Já países em desenvolvimento são abertura comercial, corrupção e inovação.

Onisanwa e Adaji (2020) realizaram estudo semelhante com dados da Nigéria. Foi verificado que a renda *per capita*, problemas no fornecimento, o número de consumidores e densidade populacional são os principais fatores determinantes do consumo elétrico no país. No entanto, o aumento da renda *per capita*, após certo nível, diminui o consumo de energia elétrica a longo prazo. Além disso, este estudo verificou que, com aumento da PIB per capita, os consumidores passam a empregar fontes alternativas de energia, como o uso de painéis fotovoltaicos, inversores e geradores. Os pesquisadores relacionam este fato com o fornecimento irregular de energia no país, assim como as elevadas tarifas cobradas.

O trabalho de Wang *et al.* (2021) demonstrou, ao avaliar as condições deste aspecto na China, que os preços das tarifas de eletricidade possuem efeito limitado no consumo residencial. Os autores consideram que isso se deve ao fato de a energia elétrica se tratar de uma necessidade básica em uma moradia, assim como o fato de que, no país, as variações na cobrança são baixas. No entanto, em análise em curto e longo prazo, os autores perceberam que no curto prazo, não há realmente esta variação no consumo, visto que é difícil para os residentes modificarem seus hábitos imediatamente. No entanto, em longo prazo, estes podem ser modificados.

Neste país asiático, o estudo também verificou o fato de a renda familiar ter efeito positivo no consumo elétrico doméstico. Os motivos apontados se encontram no fato de, ao possuírem maiores rendimentos, as famílias passam a adquirir novos eletrodomésticos, ocasionando neste aumento de consumo. Afirmam, ainda que, apesar de não ser muito considerado em estudos sobre consumo elétrico, os hábitos possuem forte influência sobre o consumo, sendo importante estudá-los mais profundamente, assim como serem considerados por políticos na tomada de decisão. Os autores apontam que elevar os preços da eletricidade poderiam levar à perda de bem-estar da população, sendo mais importante promover a educação voltada a mudança de hábitos das famílias de forma a aliviar os problemas energéticos e climáticos (Wang *et al.* 2021).

Outro trabalho realizado na China avaliou a influência ocasionada pelas variáveis: tamanho médio familiar, presença de idosos na família, PIB per capita, nível de urbanização, presença de ar condicionado e TV em cores, área útil da residência, dias frios e dias quentes. Todas essas variáveis demonstraram ser significantes para o consumo elétrico no país, sendo a urbanização com maior influência. O PIB *per capita* também mostrou ser significante (Wang *et al.* 2022).

### Análise da geração de resíduos sólidos

Por fim, a renda média *per capita* foi usada para estimar a geração de resíduos sólidos associada à equação (3) apresentada em trabalho de Dias *et al.* (2012). A Tabela 6 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 6.** Geração diária de resíduos sólidos *per capita* e geração mensal por classe econômica em Belo Horizonte/MG

Classe econômica	Produção diária de resíduos sólidos <i>per capita</i> (kg/hab.dia)	Produção total de resíduos sólidos por mês kg
A	2.03	12,487,557.15
B1	1.73	9,991,684.11
B2	1.23	19,180,271.65
C1	0.86	14,547,886.03
C2	0.65	12,294,733.00
D - E	0.45	5,663,853.86

Conforme valores indicados na Tabela 6, a produção diária de resíduos sólidos *per capita* de Belo Horizonte/MG estimada pelo modelo variou de 0.45 kg/hab.dia para as classes “D-E” a 2.03 kg/hab.dia para a classe “A”. Conforme dados de Resíduos Domésticos disponíveis publicamente da SLU, a geração per capita é de 0.69 kg/hab.dia, estando dentro da faixa estimada pelo modelo. Além disso, a geração total real informada foi de 52,517,202.50 kg/mês, enquanto o modelo estimou 74,165,985.80 kg/mês. Tal como as demais equações avaliadas, este modelo também necessita de recalibração.

Dias *et al.* (2012) estimaram na época do estudo uma geração média *per capita* de resíduos sólidos de 0.627 kg/hab.dia em Belo Horizonte. Um somatório total mensal de 42,371,110 kg/mês representava um erro de 5.2%, muito inferior ao atualmente verificado.

Alzamora *et al.* (2022) apontam em seu trabalho que, além de fatores socioeconômicos, como a renda, a geração de resíduos sólidos pode ser influenciada por fatores geográficos, hábitos, clima e período do ano, não apenas na quantificação da geração, assim como na forma como os serviços são prestados. Após a análise de trabalhos realizados em diversas localidades do planeta, os autores verificaram que, predominantemente, tamanho da população, PIB, renda, consumo de água e eletricidade possuem efeito positivo na geração de resíduos. A quantidade de pessoas vivendo na casa também afeta positivamente este aspecto, porém tem correlação negativa quando se considera a geração *per capita*.

Araiza-Aguilar *et al.* (2020) realizaram análise dos dados em municípios no México para determinar a geração de resíduos sólidos. Os autores verificaram que os principais parâmetros que afetaram a geração foram população, populações de outros municípios e densidade populacional, sendo a

população a variável que mais influenciou. Ao mesmo tempo, a renda *per capita* e o nível educacional, apesar de importantes, não afetaram significativamente no modelo proposto.

Huang *et al.* (2021) avaliaram a condição da geração de resíduo sólido municipal em 11 países, comparando alguns aspectos que pudessem influenciar, sendo: China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, França, Itália, Singapura, Hong Kong (China), Coreia do Sul e Índia. Todos os países avaliados possuíram correlação positiva entre o total de resíduo gerado e dados populacionais, PIB e PIB *per capita*. Este fato não se confirmou para o caso da Alemanha, o que, segundo os autores, pode ter relação com a divisão territorial vivenciada até os anos 90. O Brasil não foi considerado neste estudo.

### Conclusões

Por meio do presente trabalho, foi possível verificar que os modelos empregados para estimativa do consumo de água, energia elétrica e de geração de resíduos sólidos estudados no município de Belo Horizonte/MG, Brasil, com base em dados atuais, devem ser revistos e recalibrados, para que a metodologia possa ser utilizada adequadamente. O afastamento entre os valores estimados pelos modelos e os realmente aferidos pelas concessionárias pode ter ocorrido devido a mudanças nos aspectos socioeconômicos considerados neste período, como a participação de classes, tamanho populacional, renda *per capita*, dentre outros. Ou mesmo tenha relação com fatores de consumo de água e de energia e geração de resíduos sólidos, como a eficiência de equipamentos utilizados nas residências, modificação nos sistemas de medições das concessionárias ou mesmo mudança nos hábitos da população.

Desta forma, para trabalhos futuros e a continuidade da eficácia do modelo, é necessária uma recalibração para que os dados sejam representativos do atual contexto socioeconômico e possam auxiliar nas suas diversas aplicações possíveis. Para isto, deveriam ser atualizados, nos modelos, os bancos de dados socioeconômicos, de consumo e de geração. Recomenda-se empregar informações com maior desagregação possível no município e fazer uma nova correlação entre os dados, tendo como fonte de dados, assim como no modelo original, o IBGE e as prestadoras de serviços de abastecimento de água, de energia elétrica e de resíduos sólidos.

Por fim, pôde-se verificar que, para todas as classes sociais avaliadas, os valores *per capita* estimados de consumo de água e de geração de resíduos sólidos apresentaram resultados próximos aos registrados pela COPASA (123.68 L/hab.dia) e pela SLU (0.69 kg/hab.dia). Sugere-se a realização de novas avaliações neste sentido, para verificar a aplicabilidade dos modelos em estimar o consumo de água e a geração de resíduos por pessoa e não apenas para a população total de um município.

## Agradecimentos

Os autores apresentam seus agradecimentos à Companhia Energética de Minas Gerais, à Companhia de Saneamento de Minas Gerais, à Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG.

## Referências bibliográficas

- ABEP, Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (2022) *Critério de Classificação Econômica Brasil*. Acesso em 07 de dezembro de 2022. Disponível em: [https://abep.org/wp-content/uploads/2024/09/01\\_cceb\\_2022.pdf](https://abep.org/wp-content/uploads/2024/09/01_cceb_2022.pdf)
- Amaral, M. C., Silveira, A. G., Mattos, V. L. D., Konrath, A. C. and Nakamura, L. R. (2022) Relação de longo prazo entre o consumo anual residencial de energia elétrica e o Índice de Desenvolvimento Humano no Brasil: uma análise mediante conceito de cointegração, *Revista Thema*, 21(4), 1097-1109. <http://dx.doi.org/10.15536/thema.V21.2022.1097-1109.2569>
- Alzamora, B. R., Barros, R. T. V., Oliveira, L. K., and Gonçalves, S. S. (2022) Forecasting and the influence of socioeconomic factors on municipal solid waste generation: A literature review. *Environmental Development*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100734>.
- Araiza-Aguilar, J. A., Rojas-Valecia, M. N., and Aguilar-Vera, R. A. (2020) Forecast generation model of municipal solid waste using multiple linear regression. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6 (1), 1-14. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.01.01>.
- Bayer, N. M., Uranga, P. R. R and Fochezatto, A. (2022) A curva ambiental de Kuznets na produção de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros, 2011-2015, *Economia e Sociedade*, 31(1), 129-142. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-3533.2022v31n1art06>
- Beigl, P., Lebersorger, S. and Salhofer, S. (2008). Modelling Municipal Solid Waste Generation: A Review, *Waste Management*, 28, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.011>.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais (2021) *Relatório Anual de Sustentabilidade*. Acesso em 11 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/04/ras-2021.pdf>
- Dias, D. M., Martinez, C. B. and Libânio, M. (2010) Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água, *Engenharia Sanitária Ambiental*, 15(2), 155-166.
- Dias, D. M., Martinez, C. B. and Libânio, M. (2014) Modelo para estimativa do consumo domiciliar de água e de energia elétrica em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(4), 7 – 20.
- Dias, D. M., Martinez, C. B., Barros, R. T. V. and Libânio, M. (2012) Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais, *Engenharia Sanitária Ambiental*, 17(3), 325-332.
- Dokas, I., Panagiotidis, M., Papadamus, S., and Spyromitros, E. (2022) The Determinants of Energy and Electricity Consumption in Developed and Developing Countries: International Evidence. *Energies*, 15. <https://doi.org/10.3390/en15072558>.
- Grespan, A., Garcia, J., Brikalski, M. P., Henning, E., and Kalbusch, A (2022) Assessment of water consumption in households using statistical analysis and regression trees. *Sustainable Cities and Society*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104186>.
- Huang, J., Zhang, S., Zou, Y., Tai, J., Shi, Y., Fu, B., Zhao, J., and Qian, G. (2021) The heterogeneous time and income effects in Kuznets curves of municipal solid waste generation: comparing developed and developing economies. *Science of the Total Environment*, 799. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149157>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021) *Cidades e Estados: Belo Horizonte*. Acesso em 24 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>

INFOSANBAS (2023) *Belo Horizonte*. Acesso em 11 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/belo-horizonte-mg/#Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-social,-territorial-e-econ%C3%B4mica>

Monteiro, A. M (2021) *Modelagem de uma cidade sustentável com foco na financiabilidade: um estudo de caso de Belo Horizonte, Minas Gerais*. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheira Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 68.

Oliveira, G. M., Fernandes, S. M. S., and Alves, P. M (2021) *Hortas Urbanas: quando a sustentabilidade urbana éposta em prática*. In: Ed. UFPel. Hortas Urbanas: quando a sustentabilidade encontra a cidade. Pelotas/RS: Ed. UFPel.14-39.

OPUS (2018) *Critério Brasil*. Acesso em 20 de fevereiro de 2023. Disponível em:  
<https://www.opuspesquisa.com/blog/mercado/criterio-brasil/>

Onisanwa, I. D., and Adaji, M. O. (2020) Electricity consumption and its determinants in Nigeria. *Journal of Economics and Management*, **41**, (3), 87-104. <http://dx.doi.org/10.22367/jem.2020.41.05>

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte (2021) Dados Abertos Superintendência de Limpeza Urbana. Acesso em 24 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://dados.pbh.gov.br/organization/superintendencia-de-limpeza-urbana>

Rosa, S. S. (2022) Evidência da curva de Kuznets ambiental no Brasil, *Estudo & Debate*, **29**(3), 144-162. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v29i3a2022.3147>

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021) *Painel de Indicadores: Belo Horizonte*. Acesso em 07 de fevereiro de 2023. Disponível em: [https://app-hmg.cidades.gov.br/indicadores-sinis/web/residuos\\_solidos/mapa-indicadores?codigo=3106200](https://app-hmg.cidades.gov.br/indicadores-sinis/web/residuos_solidos/mapa-indicadores?codigo=3106200)

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2023) *Painel de Regionalização dos Serviços de Saneamento Básico no Brasil: Belo Horizonte*. Acesso em 07 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snис>

Tangworachai, S., Wong, W., and Lo, F. (2023) Determinants of water consumption in Thailand: sustainable development of water resources. *Studies in Economics and Finance*. <https://doi.org/10.1108/SEF-06-2022-0310>.

Wang, B., Yuan, Z., Liu, X., Sun, Y., Zhang, B., and Wang, Z. (2021) Electricity price and habits: Which would affect household electricity consumption. *Energy & Buildings*, **240**. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110888>.

Wang, Y., Cai, W., Hou, L., Zhou, Z., and Bian, J. (2022) Examining the Provincial-Level Difference and Impact Factors of Urban Household Electricity Consumption in China—Based on the Extended STIRPAT Model. *Sustainability*, **14**. <https://doi.org/10.3390/su14169960>