

# Avaliação de indicadores aplicados a sistemas de abastecimento de água de pequeno porte

*Evaluation of indicators applied to small water supply systems*

Otávio Henrique Campos Hamdan<sup>1\*</sup> , Marcelo Libânio<sup>1</sup> , Veber Afonso Figueiredo Costa<sup>1</sup> 

## RESUMO

O presente trabalho visou avaliar, por meio de regressão linear múltipla (RLM), os indicadores que melhor exprimem a realidade dos sistemas de abastecimento de água de municípios de pequeno porte, com base nos desempenhos financeiro, operacional e de qualidade da água como variáveis de resposta. A organização e a seleção dos dados fiaram-se no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento de 2014, tendo sido selecionados os referentes a 182 municípios de Minas Gerais com população inferior a 10 mil habitantes e 56 indicadores como variáveis explicativas. Por meio da RLM, verificou-se que o comprometimento das receitas com a despesa (margem da despesa de exploração) e a razão entre a arrecadação e as despesas (índice de suficiência de caixa) são as variáveis mais relevantes para descrever o desempenho financeiro. Para descrição do desempenho operacional, os índices de perdas por ligação e de faturamento de água foram os mais recorrentes. Por fim, no que tange ao desempenho de qualidade da água, os modelos apresentaram baixos coeficientes de determinação e a não aderência dos resíduos à distribuição normal.

**Palavras-chave:** indicadores de desempenho; regressão linear múltipla; Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento; porte populacional.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate, by means of multiple linear regression (MLR), the indicators that best express the reality of small municipalities water supply systems, based on financial, operational and water quality performance as response variables. The organization and selection of the sample were based on the information available in the National Sanitation Information System of 2014, selecting 182 municipalities in Minas Gerais with population below 10,000 inhabitants and 56 indicators as explanatory variables. Through MLR, it was found that the commitment of revenue to expenditure (operating expense margin) and the ratio of collection to expenses (monetary sufficiency index) are the most relevant variables to describe financial performance. For the description of operational performance, the water loss per connection and water billing rates were the most recurrent. Finally, with regard to the performance of water quality, the models presented low determination coefficients and non-adherence of the residues to normal distribution.

**Keywords:** performance indicators; multiple linear regression; National Sanitation Information System of 2014; population size.

## INTRODUÇÃO

### Indicadores no setor de saneamento

Diante da crise hídrica observada praticamente em todo o país, em 2015, faz-se necessário, transcendendo à universalização dos serviços, que os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário operem com eficácia e eficiência. Desse modo, indicadores operacionais, de qualidade da água e de desempenho financeiro tornam-se ferramentas relevantes de acompanhamento e tomada de decisão pelas prestadoras desses serviços.

Indicadores podem ser definidos como a síntese — comumente em um número — de diversas informações consideradas relevantes, visando descrever um fenômeno ou ambiente no qual tais

informações se inserem. Indicadores de qualidade da água e do atmosférico, por exemplo, são empregados por órgãos ambientais para distintos fins. O Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation, em 1970, e utilizado primeiramente no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), é o principal indicador para avaliar a qualidade da água dos corpos hídricos. Enquanto companhias de saneamento utilizam o IQA para avaliar as condições da água bruta, órgãos de gestão das águas monitoram, de maneira mais ampla, as águas superficiais de sua jurisdição por meio desse indicador (SANTOS *et al.*, 2018).

Além de avaliar o desempenho dos prestadores de serviços, o desenvolvimento e a aplicação de indicadores permitem exercer pressões

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

\*Autor correspondente: camposhamdan@yahoo.com.br

Recebido: 18/09/2017 - Aceito: 17/09/2018 - Reg. ABES: 185444

competitivas e incentivam a melhoria nos serviços prestados, auxiliando, inclusive, na tomada de decisão quanto aos investimentos a serem destinados aos municípios e aos sistemas (CORTON, 2003). Adicionalmente, os indicadores podem ser ferramentas úteis para identificar áreas que requeiram melhorias, assim como para embasar a formulação de políticas para o setor.

A despeito das vantagens de sua aplicação, sabe-se que a concepção dos indicadores deve contemplar as definições e a essência de cada parâmetro. Muitas variáveis utilizadas podem ser semelhantes, o que pode culminar na proposição de indicadores que expressam as mesmas características operacionais. Estudos revelam que menor número de indicadores facilita a compreensão dos resultados. Assim, estes devem ser selecionados minuciosamente, a fim de que possam descrever, de maneira fidedigna, a modalidade avaliada (COULIBALY; RODRIGUEZ, 2004; PEROTTO *et al.*, 2008). Meadows (1998) ressalta que se deve evitar a agregação exagerada dos indicadores, a fim de que não seja perdida a essência da informação desejada, sendo importante atentar para correlações equivocadas e para a confiança exagerada neles ao se explicar determinado evento. Em contrapartida, ao se definir o grupo de indicadores, deve-se considerar a representatividade, clareza, simplicidade e facilidade de replicação (CORTON, 2003; GALVÃO JÚNIOR; XIMENES, 2008).

Além de avaliar os serviços, na aplicação dos indicadores, deve-se atentar aos diferentes cenários e realidades dos municípios, considerando as limitações e os desafios inerentes aos diferentes portes. Acredita-se que um grupo de indicadores adequado a determinado sistema de abastecimento pode não o ser para descrever outra unidade, o que corrobora a necessidade de estudos voltados à realidade de diferentes portes de municípios.

## Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento e trabalhos correlatos

Diante de um mercado pouco competitivo do setor de saneamento e características institucionais e regulatórias específicas, que acabam por fomentar menor eficiência desses serviços, torna-se primordial a disseminação de indicadores para o setor, tal qual tem sido realizado no Brasil pelo Ministério das Cidades, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Desde sua criação, o SNIS tem avançado no grupo de informações e indicadores disponibilizados, assim como no número de municípios aderentes ao estudo. Na edição de 2016, a qual faz referência aos dados sobre a prestação de serviços do ano de 2014, o SNIS apresentou 198 informações, a partir das quais se originaram 84 indicadores relativos aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário (BRASIL, 2016a). Esses indicadores são, atualmente, divididos em cinco grupos, permitindo a construção dos panoramas econômico-financeiro, operacional (água e esgoto) e de qualidade do serviço.

A mencionada amplitude das informações disponibilizadas pelo SNIS fomentou o desenvolvimento de diversos trabalhos científicos, os quais permearam a seleção de indicadores (ALENCAR FILHO; ABREU, 2007), a avaliação de eficiência do setor de saneamento (BARBOSA; LIMA; BRUSCA, 2016; FERRO *et al.*, 2014; MAIELLO *et al.*, 2015), a comparação da prestação de serviços entre companhias públicas e privadas (MOTTA; MOREIRA, 2006), a avaliação da influência da natureza jurídica do prestador de serviços (SABBIONI, 2008; SCRIPTORE; TONETO JÚNIOR, 2012), entre outros.

Independentemente do arcabouço jurídico, a avaliação da eficiência das prestadoras dos sistemas de abastecimento de água deve-se pautar em três premissas principais: a qualidade da água distribuída e os desempenhos operacional e financeiro. Caberá ao prestador o fornecimento de água nos padrões de potabilidade vigentes e na quantidade necessária, além de dispor de capital suficiente para manutenção da qualidade do serviço.

Apesar disso, a avaliação dos indicadores quanto ao porte do município e à concepção de minimização do número de indicadores para explicação de determinado sistema de abastecimento de água ainda é pouco explorada na literatura. Desse modo, a utilização do método estatístico de regressão linear múltipla (RLM), diante dos indicadores dos sistemas de abastecimento de água do SNIS especificamente direcionados aos municípios de pequeno porte, reveste-se de importância. Essa relevância evidencia-se também no fato de os pequenos municípios, com população inferior a 10 mil habitantes, representarem, aproximadamente, 42% do total de municípios brasileiros (IBGE, 2013), cujos sistemas de abastecimento de água apresentam históricas limitações operacionais e de infraestrutura.

Várias técnicas estatísticas são apropriadas para a construção de modelos de predição em contextos uni e multivariados. Nesta pesquisa, optou-se pela RLM em decorrência de dois aspectos principais. O primeiro deles refere-se à interpretação trivial dos modelos matemáticos oferecida por tal abordagem. De fato, ao se construírem modelos de RLM, número reduzido de variáveis explicativas, que contempla somente aquelas que possuem real valor na explicação da variação dos indicadores, pode ser empregado de maneira direta e independente das demais, o que torna imediata a compreensão da equação de regressão (NAGHETTINI; PINTO, 2007; COSTA, 2017). Em um cenário de grande dimensionalidade, tal como o banco de dados do SNIS, essa característica é de grande valia para o estabelecimento de diretrizes para monitoramentos mais eficazes e frequentes daqueles parâmetros identificados como significativos. O segundo aspecto reside na flexibilidade de escolha de variáveis explicativas ao se empregar um método univariado. Com efeito, a construção de modelos multivariados implicaria o uso dos mesmos preditores para os indicadores de desempenhos financeiro, operacional e de

qualidade de água, o que poderia restringir a capacidade preditiva das equações de regressão em decorrência da natureza distinta das variáveis de resposta, ainda que, nesse caso, a estrutura de correlação entre estas seja preservada (HAAN, 2002).

Modelos baseados em RLM têm sido amplamente empregados em estudos correlatos aos serviços de abastecimento de água, tais como a comparação da produtividade de empresas de saneamento públicas e privadas (MOTTA; MOREIRA, 2006), a avaliação da concentração de trihalometano na água para consumo humano (GOLFINOPOULOS; ARHONDITSIS, 2002) e o desenvolvimento de modelos de predição do consumo de água *per capita* em municípios com população entre 50 mil e 300 mil habitantes (FERNANDES NETO *et al.*, 2005).

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os indicadores que melhor exprimem a realidade dos sistemas de abastecimento de água de municípios de pequeno porte, com base nos desempenhos financeiro, operacional e de qualidade da água. Em adição à identificação dos modelos de predição, o presente estudo também teve por objetivo avaliar, por meio de testes de significância, as potenciais distinções nas dinâmicas de operação de sistemas de abastecimento de água de municípios de pequeno porte à medida que o número de usuários aumenta. Tal expediente, aliado às possíveis intervenções no sistema de monitoramento derivadas da análise de regressão, pode ser de interesse para a proposição de ações prioritárias para a melhoria dos desempenhos financeiros, operacional e de qualidade de água dos referidos sistemas.

## METODOLOGIA

### Organização da amostra

Precedendo a utilização efetiva das informações, efetuou-se avaliação prévia dos dados do SNIS referentes à prestação de serviços de 2014 (Quadro 1), os quais são utilizados no presente estudo. Rousseuw e Van Zomeren (1990) definem que os *outliers* são observações que apresentam afastamento das demais, podendo, em alguns casos, ser excluídos do banco de dados após avaliação técnica. De maneira que se subsidie tal exclusão, foram identificadas faixas de variação tecnicamente plausíveis para as variáveis listadas no Quadro 1.

Para identificação dos dados anômalos, utilizou-se o método exploratório de amplitude interquartil (IQ) em conjunto com a mencionada análise técnica de cada variável do banco de dados. Foram considerados dados anômalos ou *outliers* aquelas observações que excedem o valor do terceiro quartil amostral em mais de  $1,5 \times IQ$  ou aquelas que se situam abaixo desse limite com relação ao primeiro quartil (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Adicionalmente, foi identificado o grau de preenchimento das informações do banco de dados e, assim, foi calculado o Índice de Dados Analisáveis (IDA) para cada município, conforme Equação 1.

$$IDA = 1 - \frac{\text{Número dados anômalos} + \text{Número de dados não preenchidos}}{\text{Total de dados}} \quad (1)$$

Foram considerados municípios analisáveis — com base na avaliação dos dados anômalos, *outliers* e indisponíveis — aqueles cujo IDA excedeu o valor do terceiro quartil amostral.

### Elaboração dos modelos

Com base na definição de Larsson *et al.* (2002) de que os indicadores devem possibilitar comparações quantitativas, definiram-se os parâmetros de desempenho para avaliação dos municípios por meio das Equações 2, 3 e 4, cujas informações também estão disponíveis no SNIS 2014.

$$\text{Desempenho financeiro} = \frac{\text{Receitas operacionais}}{\text{Despesa total com os serviços}} \quad (2)$$

$$\text{Desempenho operacional} = \frac{\text{Volume de água distribuída}}{\text{Quantidade de economias ativas}} \quad (3)$$

Qualidade da água =

$$\frac{\sum \text{Amostras fora do padrão de cloro, turbidez e coliformes totais}}{\text{Amostras analisadas de cloro, turbidez e coliformes totais}} \quad (4)$$

Após o cálculo desses indicadores, procedeu-se à construção das matrizes de correlação, as quais visavam identificar, entre os parâmetros monitorados pelo SNIS, potenciais variáveis explicativas para os modelos de predição. Considerando a possibilidade de as relações funcionais entre as variáveis e os indicadores de desempenho serem não lineares, realizaram-se algumas transformações propostas por Yevjevich (1964) tanto nas variáveis como nos indicadores de desempenho, tais como a aplicação de logaritmo natural, exponencial e função inversa. Dessa forma, tencionou-se avaliar as correlações com os indicadores de desempenho também face às transformações realizadas.

Tendo em vista que algumas variáveis explicativas apresentam correlação significativa entre si e que, segundo Hair *et al.* (2009), para a construção dos modelos de RLM, as multicolinearidades devem ser avaliadas para mitigar estimativas errôneas dos coeficientes, realizou-se um filtro dos preditores à disposição. Assim, eliminou-se, entre duas variáveis explicativas correlacionadas, aquela com menor correlação linear com o indicador de desempenho. Para isso, considerou-se que duas variáveis apresentavam multicolinearidade

quando o coeficiente de correlação linear fosse superior a 0,85 (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Esse procedimento fez-se necessário, pois o modelo de regressão pressupõe a independência entre as variáveis explicativas, e a presença de multicolinearidade dificulta a separação de efeitos que duas variáveis exercem sobre a variável dependente. A técnica de construção de modelos de regressão

utilizada, denominada *forward stepwise regression*, também mitiga o efeito da multicolinearidade no provimento dos modelos matemáticos (NETER *et al.*, 2004).

Posteriormente, realizou-se a construção dos modelos de regressão, os quais são representados genericamente por meio da Equação 5 (KOTTEGODA; ROSSO, 2008).

**Quadro 1 – Variáveis pré-selecionadas do banco de dados do Serviço Nacional de Informação sobre Saneamento.**

Cód.	Variável	Cód.	Variável
V1	Densidade de economias de água por ligação	V32	Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração
V2	Economias ativas por pessoal próprio	V33	Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração (DEX)
V3	Despesa total com os serviços por m <sup>3</sup> faturado	V34	Participação das outras despesas nas despesas de exploração
V4	Tarifa média praticada	V35	Participação da receita operacional direta de água na receita operacional total
V5	Tarifa média de água	V36	Participação da receita operacional indireta na receita operacional total
V6	Incidência da despesa de pessoal e de serviços de terceiros nas despesas totais com os serviços	V37	Participação das economias residenciais de água no total das economias de água
V7	Despesa média anual por empregado	V38	Índice de micromedição relativo ao consumo
V8	Índice de hidrometração	V39	Índice de produtividade: empregados próprios por 1.000 ligações de água
V9	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado	V40	Índice de perdas na distribuição
V10	Índice de macromedição	V41	Índice bruto de perdas lineares
V11	Indicador de desempenho financeiro	V42	Índice de perdas por ligação
V12	Índice de perdas de faturamento	V43	Índice de consumo de água
V13	Consumo micromedido por economia	V44	Consumo médio de água por economia
V14	Consumo de água faturado por economia	V45	Dias de faturamento comprometidos com contas a receber
V15	Quantidade equivalente de pessoal total	V46	Índice de atendimento total de água
V16	Índice de produtividade: economias ativas por pessoal total	V47	Índice de fluoretação de água
V17	Extensão da rede de água por ligação	V48	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água
V18	Consumo médio <i>per capita</i> de água	V49	Economias atingidas por paralisações
V19	Índice de atendimento urbano de água	V50	Duração média das paralisações
V20	Volume de água disponibilizado por economia	V51	Economias atingidas por intermitências
V21	Despesa de exploração por m <sup>3</sup> faturado	V52	Duração média das intermitências
V22	Despesa de exploração por economia	V53	Incidência das análises de cloro residual fora do padrão
V23	Índice de faturamento de água	V54	Incidência das análises de turbidez fora do padrão
V24	Índice de evasão de receitas	V55	Índice de conformidade da quantidade de amostras – cloro residual
V25	Margem da despesa de exploração	V56	Índice de conformidade da quantidade de amostras – turbidez
V26	Margem da despesa com pessoal próprio	V57	Duração média dos serviços executados
V27	Margem da despesa com pessoal total (equivalente)	V58	Incidência das análises de coliformes totais fora do padrão
V28	Margem do serviço da dívida	V59	Índice de conformidade da quantidade de amostras – coliformes totais
V29	Margem das outras despesas de exploração	V60	Índice de suficiência de caixa
V30	Participação da despesa com pessoal próprio nas despesas de exploração	V61	Índice de produtividade de pessoal total
V31	Participação da despesa com pessoal total (equivalente) nas despesas de exploração		

Fonte: adaptado de Brasil (2016b).

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (5)$$

Em que:

Y = variável resposta (Indicador de Desempenho Financeiro — ID<sub>F</sub>, Índice de Desenvolvimento Operacional — ID<sub>O</sub> — ou Indicador de Qualidade da Água — ID<sub>Q</sub>);

X<sub>i</sub> = variáveis explicativas (indicadores previamente selecionados do SNIS);

ε = resíduos relativos à diferença entre os valores observados e estimados;

β = coeficientes de regressão de cada variável explicativa, estimados por meio do Método dos Mínimos Quadrados;

k = número de parâmetros.

Para elaboração dos modelos, decidiu-se dividir o espaço amostral dos municípios de pequeno porte em duas subamostras abrangendo municípios com população inferior a 5 mil habitantes e com população superior a 5 mil e inferior a 10 mil habitantes. Essa decisão pautou-se na perspectiva de que distinções operacionais e de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água pudessem tornar um modelo único menos fidedigno.

### Testes de hipóteses e validação dos modelos

Testes de hipóteses foram realizados com a finalidade de verificar a significância dos coeficientes da regressão. Além de se avaliar a significância do modelo como um todo, por meio do teste de F-total, acada inserção de uma nova variável, aplicou-se o teste de hipótese de F-parcial, a fim de se verificar se a variável inserida contribuiu significativamente para explicar a dependente. Todos os testes de hipótese realizados na construção dos modelos de predição empregaram o nível de significância de 5%.

A análise *forward stepwise selection*, utilizada para avaliar a construção dos modelos de regressão, inicia-se com a inserção da variável explicativa de maior contribuição ao coeficiente de determinação múltipla para os modelos e, a cada passo de modelagem, uma nova variável explicativa é considerada. O processo é repetido até que a inserção de uma nova variável não melhore significativamente o modelo de regressão, em concordância com os testes de F-total e F-parcial (FERREIRA, 2011).

Segundo Haan (2002), o número de variáveis explicativas que compõe um modelo não deve exceder em mais que 35% o número de observações. Logo, após a definição do modelo, verificou-se essa prerrogativa.

A inclusão progressiva de variáveis, mesmo daquelas com menor poder explicativo para o modelo, sempre promove o aumento do coeficiente de determinação. Dessa forma, a fim de considerar o número de variáveis explicativas e dirimir a inclusão indiscriminada dessas variáveis no modelo, utilizou-se, como indicativo de parcimônia, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o qual penaliza

o coeficiente de determinação em virtude da perda de um grau de liberdade decorrente da introdução de novas variáveis à equação de regressão (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2001). O coeficiente de determinação ajustado foi calculado pela Equação 6.

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (6)$$

Posteriormente, realizou-se análise de resíduos de cada modelo pela avaliação das seguintes premissas: homogeneidade dos resíduos, distribuição normal dos resíduos e independência dos resíduos (KOTTEGODA; ROSSO, 2008). Os pressupostos mencionados foram verificados por meio dos *softwares* Statistica® e Excel®.

### Estatística descritiva e análise de variância

Visando embasar as análises dos modelos matemáticos obtidos pela RLM, foram avaliadas as estatísticas descritivas para as três variáveis dependentes e todas as explicativas integrantes de cada modelo. Adicionalmente, foram realizados testes de hipóteses com o intuito de verificar variações entre medianas e determinar se essas variações, para determinada variável, são significativas, possibilitando, assim, encontrar subsídios para explorar os modelos obtidos. Para isso, foram utilizados os testes *one-way* ANOVA para variáveis com distribuição normal e de Kruskal-Wallis para variáveis com distribuição não normal. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk (KOTTEGODA; ROSSO, 2008). Também aqui se adotou o nível de significância de 5% para os testes de hipótese.

Subsidiada por toda a metodologia previamente apresentada, procedeu-se à proposição de ações prioritárias. Estas foram propostas com vistas às necessidades verificadas para os municípios amostrados, analisando-se cada um dos modelos referentes aos indicadores de desempenho e fundamentando-se nos resultados provenientes da estatística descritiva e análise de variância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Seleção dos municípios e das variáveis

Após a predefinição dos indicadores, foram selecionados, inicialmente, os municípios que compõem a amostra de dados dentre os 804 municípios de Minas Gerais com preenchimento dos formulários do SNIS relativos ao ano de 2014, correspondendo a 94% dos municípios do estado.

O cálculo do IDA para todos os 435 municípios (dos 804) com população inferior a 10 mil habitantes permitiu classificá-los quanto ao percentual de preenchimento dos dados. Utilizando o terceiro quartil como base, foram selecionados aqueles com mais de 90% dos dados analisáveis, totalizando uma amostra de 182 municípios em

todas as regiões do estado. Desses 182, 76 apresentam população inferior a 5 mil habitantes e 106, entre 5 mil e 10 mil habitantes.

Posteriormente à seleção dos municípios, procedeu-se à verificação de possíveis variáveis que apresentassem elevado índice de anomalia e não preenchimento, a fim de excluí-las da análise de regressão. Percebeu-se a disparidade entre o IDA de cinco variáveis com menos de 50% de dados analisáveis, tendo em vista que as outras 56 apresentavam IDA de no mínimo 94%. Sendo assim, entre as 61 variáveis pré-selecionadas listadas no Quadro 1, elegeram-se as 56 com IDA superior a 94%. As cinco variáveis eliminadas da amostra e respectivos valores de IDA foram: duração média das intermitências (4,4%), economias atingidas por intermitências (19,4%), índice de conformidade da quantidade de amostras — cloro residual (19,9%), economias atingidas por paralisações (36,6%) e duração média das paralisações (48,8%).

Entre as 56 variáveis pré-selecionadas, 2 são de interesse do presente estudo como variável de resposta: os indicadores de desempenho financeiro (IDF) e de volume de água disponibilizado por economia (IDO). A variável resposta de qualidade da água (IDQ) foi calculada com base nas amostras de cloro, flúor e coliformes totais disponibilizadas pelo SNIS, conforme Equação 4.

Para o desempenho financeiro, tem-se que quanto maior o seu valor, melhor é o desempenho. Situação inversa ocorre no desempenho de qualidade da água, o qual está associado ao número de amostras fora do padrão. No que tange ao desempenho operacional, as análises devem considerar que não há um sentido preferencial, e sim uma faixa em que esse desempenho é usual. Valores muito baixos podem indicar desabastecimento no sistema, ao passo que os altos podem apontar para má gestão, com volume disponibilizado pela prestadora superior ao necessário — usualmente vinculado à tarifação pouco restritiva.

Nessa vertente, seria de grande valia analisar também a perenidade do abastecimento, a qual poderia compor o desempenho operacional. Todavia, evidenciou-se demasiada fragilidade dos quatro indicadores do SNIS correlacionados com esse fator (economias atingidas por

paralisações, duração média das paralisações, economias atingidas por intermitências e duração média das intermitências).

## Elaboração e validação dos modelos propostos

Entre as variáveis explicativas pré-selecionadas, foi possível avaliar, pela técnica *forward stepwise regression*, quais comporiam o modelo de regressão para o IDF, IDO e IDQ. Na Tabela 1, exemplificam-se as variáveis significativas para o modelo do IDO para municípios com população inferior a 5 mil habitantes, assim como os coeficientes de regressão de cada informação selecionada e os valores do valor p que atestam a significância dos coeficientes para o nível de significância do teste,  $\alpha = 5\%$ .

Selecionadas as variáveis e aferida a significância de todos os coeficientes de regressão, avaliou-se a contribuição de cada variável para o aumento do coeficiente de determinação, a fim de que fossem obtidos modelos mais parcimoniosos.

Desse modo, para municípios com população inferior a 5 mil habitantes, verificou-se que o desempenho financeiro poderia ser descrito apenas pelo índice de suficiência de caixa (V60, no Quadro 1), o qual explica aproximadamente 90% da variação de  $ID_F$ . As demais variáveis, ainda que significativas, pouco contribuíram para o aumento da explicação da variação do desempenho. Com o mesmo critério, pode-se afirmar que o desempenho operacional se vincula, essencialmente, ao índice de perdas por ligação e ao consumo médio de água por economia, as quais são aptas a explicar 99% da variação de  $ID_O$ . O modelo referente ao  $ID_Q$  apresentou coeficiente de determinação ajustado inferior a 0,1.

Para municípios com população entre 5 mil e 10 mil habitantes, foram necessárias mais variáveis na composição dos modelos, como pode ser verificado na Tabela 2. Os modelos para IDF e IDO apresentaram coeficiente de determinação ajustado superior. Novamente, evidenciou-se o pequeno poder de explicação do modelo construído para o IDQ que, embora significativo, apresentou pior ajuste.

Após a identificação dos modelos de predição, para todos os modelos, verificou-se a dispersão dos resíduos, o que corroborou a hipótese

**Tabela 1** - Variáveis explicativas selecionadas para o modelo e a avaliação do coeficiente de regressão ( $\beta$ ) de cada variável selecionada para o Indicador de Desempenho Operacional aplicado aos municípios com população inferior a 5 mil habitantes.

Variável (numeração)	Indicador de Desempenho Operacional ( $ID_O$ )						
	Inserção da variável		Coeficiente de regressão			Ajuste	
	F-parcial	valor p	$\beta$	F	valor p	$R^2_{aj}$	$\Delta R^2_{aj}$
Índice de perdas por ligação (V42)	105,026	0,0000	0,029	13,975,733	0,0000	0,5867	0,5867
Consumo médio de água por economia (V44)	13,947,876	0,0000	1,011	17,511,302	0,0000	0,9978	0,4112
Densidade de economias de água por ligação (V1)	12,588	0,0007	-0,002	13,808	0,0004	0,9982	0,0003
Índice bruto de perdas lineares (V41)	7,847	0,0066	0,002	10,795	0,0016	0,9984	0,0002
Índice de macromedição (V10)	5,906	0,0177	-0,001	5,906	0,0177	0,9986	0,0001

da independência para  $ID_F$  e  $ID_O$ , tendo-se em vista que nenhum padrão de variação foi observado nos gráficos. Além disso, há indícios de que as hipóteses de constância da variância e independência dos erros foram verificadas, pois a distribuição dos resíduos foi aleatória em torno da reta correspondente ao valor esperado nulo e contida em uma faixa horizontal restrita de valores. Assim, confirmou-se que não houve sérias violações dos pressupostos de média nula, independência dos erros e homocedasticidade.

Em contrapartida, as mesmas conclusões não se aplicaram ao modelo de  $ID_Q$ , o qual apresentou padrões evidentes de variação dos resíduos. Torna-se importante ressaltar que todos os modelos, transformados e não transformados, foram também testados para o  $ID_Q$ . No entanto, nenhum deles apresentou valores elevados dos coeficientes de determinação ajustados e distribuição

normal dos resíduos, invalidando-os diante desse comportamento. A Figura 1 exemplifica os gráficos avaliados para avaliação da dispersão dos resíduos.

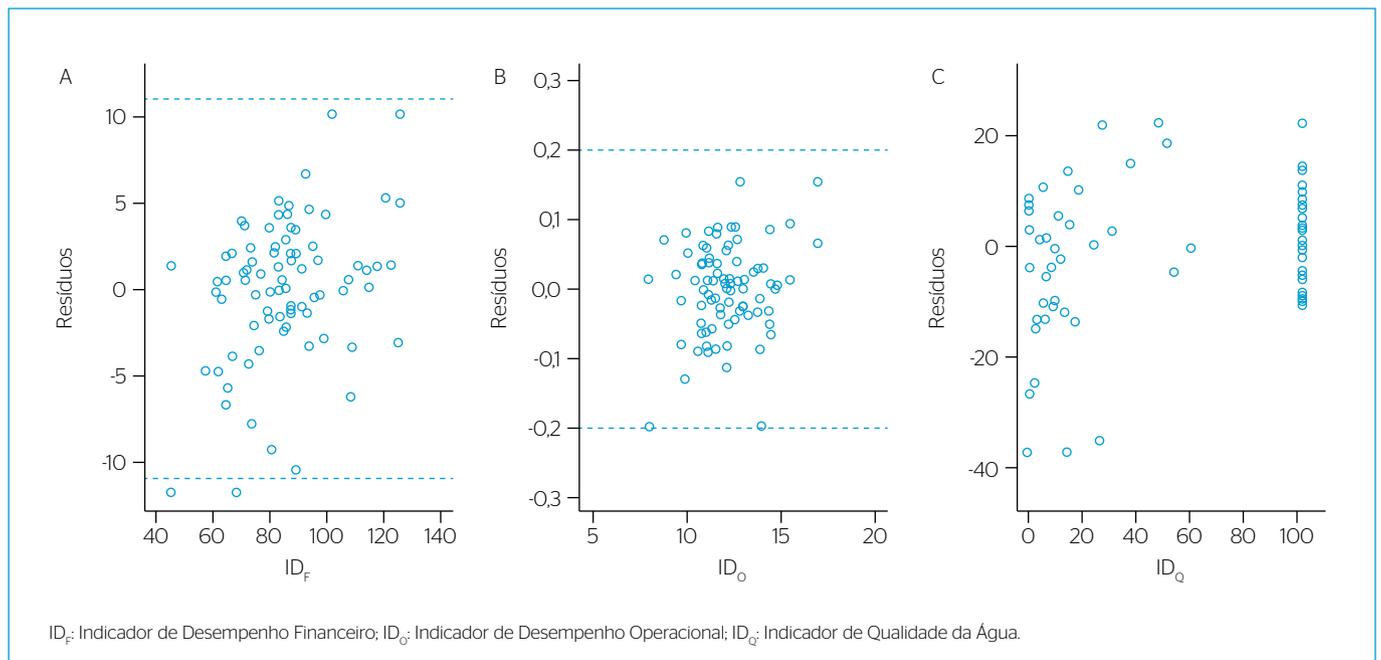
Além disso, verificou-se a normalidade dos resíduos (Figura 2), avaliando-se a aderência dos dados a uma reta. Constatou-se que não houve desvios substanciais em relação à normalidade, principalmente nos valores centrais, para os quais foi observada maior aderência dos resíduos à referida reta. A Figura 2 exemplifica os gráficos avaliados para verificação da normalidade dos resíduos.

Ademais, verificou-se que os modelos propostos para o  $ID_F$  e  $ID_O$  possibilitam prever, de maneira satisfatória, as observações desses indicadores, o que não é observado para o  $ID_Q$  em ambos os grupos avaliados. A Figura 3 exemplifica os gráficos avaliados para comparação dos valores observados e modelados.

**Tabela 2 - Modelos e estatística de teste para os municípios com população inferior a 5 mil habitantes (grupo I) e população entre 5 mil e 10 mil habitantes (grupo II).**

Grupo	Modelo	R <sup>2</sup> aj	F	p
I	$ID_F = -3,754 + 1,023 * V60$	0,90536	718,5513	0,0000
	$ID_O = -0,001 + 0,030 * V42 + 1,000 * V44$	0,99779	16923,65	0,0000
	$ID_Q = 1/\ln(1,488,641 - 6,501 * V15 - 0,235 * V61)$	0,01596	24,28	0,0067
II	$ID_F = 10^4 / (-3,703 + 1,357 * V25 - 2,617 * V6 + 1,991 * V31)$	0,99467	6533,9448	0,0000
	$ID_O = 15,854 - 0,143 * V23 + 0,941 * V13$	0,98340	3112,0708	0,0000
	$ID_Q = 1/(-492,121 - 23,865/V33 - 32,480/V36 - 1,435/V29 + 124,832/V23 + 0,948/V28)$	0,25607	8,2285	0,0000

IDF: Indicador de Desempenho Financeiro; IDO: Indicador de Desempenho Operacional; IDQ: Indicador de Qualidade da Água.



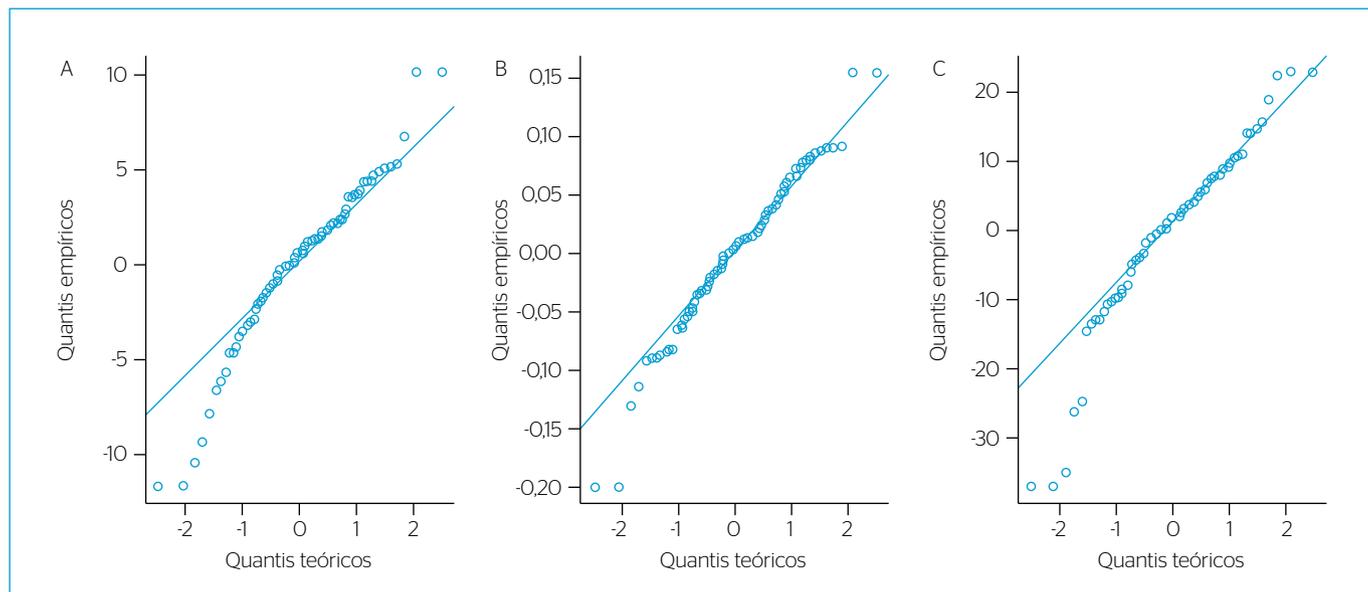
**Figura 1 - Distribuição dos resíduos em relação às variáveis resposta (A) Indicador de Desempenho Financeiro, (B) Indicador de Desempenho Operacional e (C) Indicador de Qualidade da Água para municípios com população inferior a 5 mil habitantes.**

## Análise dos modelos propostos

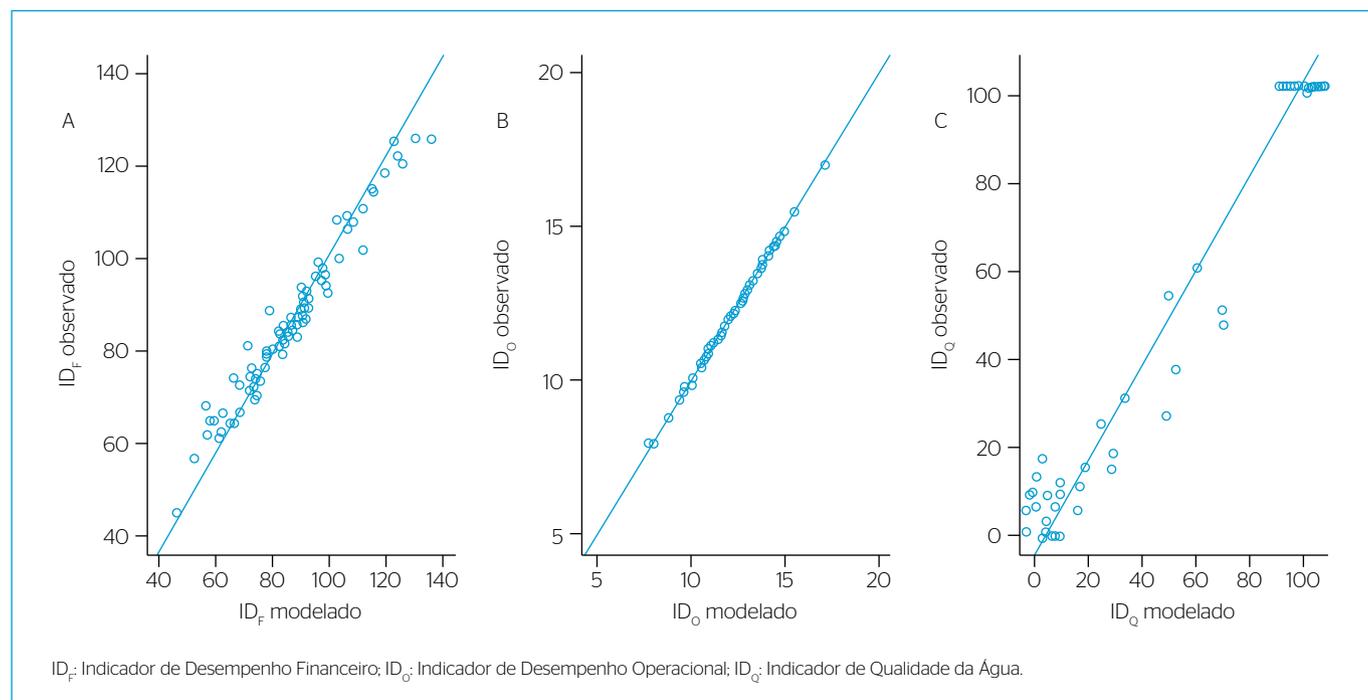
### Desempenho financeiro

Para os municípios com população inferior a 5 mil habitantes, conforme denotado na Tabela 2, o desempenho financeiro pode ser descrito por

meio de apenas uma variável (com  $Raj^2 = 0,905$ ). A variável de suficiência de caixa (V60), apresentada como suficiente para explicação da do desempenho financeiro, é calculada pela razão entre a arrecadação total e as despesas inerentes à prestação de serviços. Como o desempenho financeiro exprime a proporção entre as receitas e



**Figura 2** - Gráfico quantil-quantil da distribuição normal dos resíduos para (A) Indicador de Desempenho Financeiro, (B) Índice de Desempenho Operacional e (C) Indicador de Qualidade da Água para municípios com população inferior a 5 mil habitantes.



ID<sub>f</sub>: Indicador de Desempenho Financeiro; ID<sub>o</sub>: Indicador de Desempenho Operacional; ID<sub>q</sub>: Indicador de Qualidade da Água.

**Figura 3** - Gráfico comparativo dos valores observados e modelados para (A) Indicador de Desempenho Financeiro, (B) Índice de Desempenho Operacional e (C) Indicador de Qualidade da Água para municípios com população inferior a 5 mil habitantes.

despesas, é possível perceber a relação entre a suficiência de caixa e o desempenho. Nesse sentido, para que esse desempenho seja maximizado, podem ser priorizadas ações que diminuam a inadimplência dos usuários, aproximando, assim, a arrecadação da receita. Para tanto, são necessários estudos, como o conduzido por Fernandes *et al.* (2014), que possibilitem identificar as causas da inadimplência e subsidiem as estratégias dos prestadores de serviço de abastecimento de água para aumento da arrecadação.

Entre as demais variáveis significativas não incorporadas ao modelo, destacaram-se as componentes de despesa, como pessoal, serviços de terceiros e empregados. No entanto, as com produtos químicos, energia elétrica e outras — como encargos fiscais — não apresentaram significância estatística para descrever o desempenho financeiro para os sistemas avaliados. Especificamente no que se refere às despesas com pessoal próprio, para esse grupo de municípios (mediana  $\approx$  58%), essas despesas foram superiores às apresentadas pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2016a) para o país (média  $\approx$  42%), o que pode explicar a significância dessa variável no modelo para municípios com população inferior a 5 mil habitantes.

As informações vinculadas pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2016a) permitem inferir que a contribuição relativa da despesa com pessoal nas despesas gerais é maior em municípios de menor porte, considerando que, independentemente do porte do município, é necessário um quadro mínimo de funcionários para que o sistema opere em condições adequadas. Na medida em que o porte do sistema aumenta, novos funcionários somam-se ao quadro mínimo, mas as despesas adicionais com esses novos funcionários crescem em uma proporção menor que o aumento das outras despesas. Apesar da significância, essa variável não foi incorporada ao modelo por não aumentar, de maneira relevante, o poder explicativo do modelo.

Adicionalmente, observou-se que nenhuma variável diretamente relacionada à receita apresentou significância estatística. Todavia, os índices de suficiência de caixa — única variável significativa e incorporada ao modelo — e de evasão de receitas e o consumo médio *per capita*, os quais apresentam relação indireta com a receita, mostraram-se significativos. As duas primeiras relacionam-se à arrecadação dos sistemas de abastecimento de água e, por conseguinte, à receita. Na prática, a arrecadação corresponde ao valor faturado pela prestadora e a receita, ao potencial de faturamento de acordo com o volume faturado, considerando a inadimplência dos usuários. Dessa forma, é plausível inferir que o desempenho financeiro esteja ligado à arrecadação e não somente à receita.

Conforme mostrado na Tabela 2 e no Quadro 1, o desempenho financeiro para municípios com população entre 5 mil e 10 mil habitantes relacionou-se às despesas, às margens de despesa e à produtividade. Para elaboração do modelo, três variáveis mostraram-se necessárias para que as hipóteses acerca dos resíduos de modelagem

fossem verificadas (independência, homocedasticidade e normalidade). Com efeito, ainda que o modelo composto somente da variável V6 (Incidência de despesas de pessoal nas despesas totais) tenha apresentado  $R^2_{aj}$  elevado, os gráficos de diagnóstico mostraram que premissas supracitadas não eram validadas caso tal modelo, mesmo dotado de maior parcimônia, fosse selecionado. Em decorrência desse fato, as variáveis V25 (margem de despesa de exploração) e V31 (participação da despesa com pessoal total nas despesas com exploração), ambas significativas ao nível de 5%, foram incorporadas ao modelo. Nessa situação, a equação de regressão apresentou  $R^2_{aj}$  igual a 0,995.

Para os municípios avaliados, dentre as despesas de exploração, a de dispêndio com pessoal representou 70% do total, o que explica a significância dessa variável. Tanto as despesas com pessoal quanto às de exploração, como as relacionadas às totais foram significativas e incorporadas ao modelo. Sendo assim, é importante salientar que as despesas de exploração compreendem todas as diretamente ligadas à prestação do serviço, ao passo que as totais abrangem essas de exploração e as correlatas a encargos, tributos, depreciações e juros.

A variável V25, também incorporada ao modelo, relaciona-se ao comprometimento da receita com o pagamento das despesas. Desse modo, conforme esperado e verificado no modelo, quanto maior o comprometimento da receita para pagamento das dívidas, menor o desempenho financeiro. Segundo informações do Ministério das Cidades (BRASIL, 2016a), municípios com população inferior a 10 mil habitantes apresentam, em média, maiores margens da despesa de exploração, o que pode justificar a relevância desse indicador no modelo. Determinadas despesas, como a de pessoal e energia elétrica, não aumentam proporcionalmente com a ampliação do porte dos sistemas de abastecimento de água. Sendo assim, municípios de pequeno porte acabam por apresentar um maior comprometimento da receita com as despesas.

### Desempenho operacional

Para os municípios com população inferior a 5 mil habitantes, o desempenho operacional, mensurado no presente estudo como o volume distribuído por economia, apresentou modelo composto por duas variáveis (com  $R_{aj}^2 = 0,998$ ): índice de perdas por ligação e consumo médio por economia. Também aqui, em razão do comportamento dos resíduos de modelagem, uma equação de regressão menos parcimoniosa foi selecionada em detrimento da alternativa mais simples.

A relação entre o consumo médio e volume distribuído é conhecida, calcada na lei da oferta e demanda. A significância do índice de perdas vincula-se ao fato de que quanto maior é o volume perdido na distribuição, maior deve ser o volume distribuído à população para garantir a perenidade do abastecimento.

No entanto, apesar de relacionado ao desempenho operacional, o índice de perdas nesses municípios não constituiu fator limitante. Em média, tais municípios perdem 97,7 litros diários de água por ligação, bem abaixo da média desse índice para Minas Gerais (239 L.ligação<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>). O mesmo verifica-se para o índice médio bruto de perdas lineares nesses municípios (7,1 litros diários por quilômetro de rede), significativamente inferior à média de 30,8 litros perdidos nos municípios com população superior a 100 mil habitantes (BRASIL, 2016a).

Não obstante, conforme indicado pelo modelo e mesmo com os baixos índices de perdas, ações que mitiguem o volume de água perdido podem prover a melhoria do desempenho operacional. Nesse sentido, diversas ações podem ser realizadas, como a setorização da rede de distribuição, o controle de pressão e vazamentos, a substituição de hidrômetros e tubulações, entre outros (TARDELLI FILHO, 2016). Diante do cenário de baixos índices nos municípios avaliados, sugere-se a utilização de ferramentas computacionais, como proposto por Soares *et al.* (2004), que permitam identificar as ações a serem realizadas de maneira mais assertiva.

Além das duas variáveis que integram o modelo, outras mostraram-se significativas. No que se refere à densidade de economias de água por ligação, pode-se relacioná-la ao grau de verticalização do município. O aumento do índice de verticalização sugere menor volume distribuído por economia, justificado pelo perfil de consumo de água por domicílio em edifícios. Nesse sentido, verificou-se que a verticalização impacta na diminuição do desempenho operacional e, indiretamente, pode contribuir para menor arrecadação do prestador. Contudo, municípios de pequeno porte, via de regra, apresentam baixo índice de verticalização, podendo, portanto, a significância dessa variável ser atribuída a um indicativo de que o aumento na densidade de economias por ligação pode vir a ser determinante, não necessariamente o sendo, atualmente.

Por fim, observou-se a relação direta entre o desempenho operacional e o índice de macromedição. Essa relação pode ter sido apontada pelo fato de a macromedição permitir a mensuração da água produzida e, por conseguinte, possibilitar o combate às perdas de água na distribuição e às ligações clandestinas, diminuindo o volume distribuído requerido para abastecimento da população.

Para a segunda subamostra de dados, relativa aos municípios com população entre 5 mil e 10 mil habitantes, o modelo desenvolvido para o desempenho operacional mesclou variáveis estritamente operacionais e financeiras (com  $Raj^2 = 0,983$ ). Entre as variáveis operacionais, destacaram-se consumo micromedido por economia — incorporada ao modelo —, consumo de energia elétrica e duração média dos serviços executados.

A variável duração média dos serviços executados, não incorporada ao modelo, provavelmente mostrou-se significativa pelo fato de esse

grupo de municípios apresentar maior duração. Em geral, os municípios com população entre 5 mil e 10 mil habitantes despendem em torno de 131 horas por serviço, o que corresponde a 5% a mais do tempo nos municípios acima de 100 mil habitantes (BRASIL, 2016a). Em suma, a duração dos serviços está inversamente relacionada ao desempenho operacional, tendo em vista que muitos serviços interrompem o abastecimento de água, afetando o volume distribuído.

A correlação do desempenho operacional com variáveis financeiras permeia a dependência orçamentária da capacidade produtiva dos prestadores desses municípios. De maneira geral, as variáveis relacionadas foram o índice de faturamento de água — significativa e incorporada ao modelo —, evasão de receitas e participação da receita operacional direta na total. Torna-se importante distinguir que a receita operacional direta se relacionou à aplicação da tarifa e ao faturamento decorrente de outros serviços, como reparo de hidrômetros e serviços de ligação. Desse modo, é razoável inferir que o aumento da participação da receita operacional direta relaciona-se ao aumento do consumo e, por conseguinte, ao maior volume distribuído, ou seja, maior desempenho operacional.

Finalmente, a significância do índice do faturamento de água, correspondente ao quantitativo da água produzida faturada, justifica-se ao considerar que à medida que se fatura maior volume, menor será a necessidade de produção excessiva, por economia, para compensação do volume despendido nas perdas e nas ligações clandestinas.

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento do trabalho permitiu identificar os indicadores que melhor exprimem os desempenhos financeiro e operacional dos sistemas de abastecimento de água de municípios de pequeno porte. As informações relativas à qualidade da água foram insuficientes para descrição desse desempenho para os municípios avaliados.

Para o desempenho financeiro, verificou-se que o índice de suficiência de caixa foi capaz de explicar 90,5% da variação do desempenho para municípios com população inferior a 5 mil habitantes. Para populações entre 5 mil e 10 mil, por sua vez, a margem de despesa de exploração, a incidência das despesas de pessoal e de serviços de terceiros nas totais e a participação da despesa com pessoal nas de exploração explicaram 99,5% da variação desse desempenho. Em relação ao operacional, verificou-se que, para municípios com populações inferiores a 5 mil habitantes, o índice de perdas por ligação e o consumo médio de água por economia foram os que melhor exprimiram sua variação (99,8%). Já para municípios com populações entre 5 mil e 10 mil habitantes, o índice de faturamento de água e o consumo micromedido por economia explicaram 98,3% da variação.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR FILHO, F.M.A.; ABREU, L.M. (2007) An alternate methodology for the evaluation of the performance of basic sanitation. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v.18, n.1, p.22-35. <http://dx.doi.org/10.1108/14777830710717695>
- BARBOSA, A.; LIMA, S.C.; BRUSCA, I. (2016) Governance and efficiency in the Brazilian water utilities: A dynamic analysis in the process of universal access. *Utilities Policy*, v. 43, p. 82-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2016.06.013>
- BRASIL. (2016a) Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014*. Brasília: Ministério das Cidades.
- BRASIL. (2016b) Ministério das Cidades. *Glossário de Indicadores AE-2014*. Brasília: Ministério das Cidades.
- CORTON, M.L. (2003) Benchmarking in the Latin American water sector: the case of Peru. *Utilities Policy*, v. 11, n. 3, p. 133-142.
- COSTA, V. (2017) Correlation and Regression. In: NAGHETTINI, M. (org.). *Fundamentals of Statistical Hydrology*. Cham: Springer. p. 391-440.
- COULIBALY, H.D.; RODRIGUEZ, M.J. (2004) Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities. *Journal of Environmental Management*, v. 73, n. 3, p. 243-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.07.003>
- FERNANDES, V.M.; ROMITO, P.R.; FREITAS, D.L.; COELHO, H.B.C. (2014) Estudo das causas da inadimplência no SAAE. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11., 2014. *Anais...*. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/40420455.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- FERNANDES NETO, M.L.F.; NAGHETTINI, M.; VON SPERLING, M.; LIBÂNIO, M. (2005) Assessing the relevance of intervening parameters on the per capita water consumption rates in Brazilian urban communities. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 5, n. 1, p. 9-15. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2005.0002>
- FERREIRA, S.P. (2011) *Estudo comparativo do pós-processamento estatístico aplicado ao modelo BRAMS*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FERRO, G.; LENTINI, E.J.; MERCADIER, A.C.; ROMERO, C.A. (2014) Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. *Utilities Policy*, v. 28, p. 42-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2013.12.001>
- GALVÃO JÚNIOR, A.C.; XIMENES, M.M.A.F. (2008) *Regulação: normatização da prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: ARCE. 512 p.
- GOLFINOPOULOS, S.K.; ARHONDITSIS, G.B. (2002) Multiple regression models: A methodology for evaluating trihalomethane concentrations in drinking water from raw water characteristics. *Chemosphere*, v. 47, n. 9, p. 1007-1018. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(02\)00058-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00058-9)
- HAAN, C.T. (2002) *Statistical methods in hydrology*. Iowa: Iowa State Press. 496 p.
- HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. (2009) *Multivariate data analysis: a global perspective*. Boston: Pearson. 816 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2013) *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*. IBGE. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking>>. Acesso em: 27 ago. 2016.
- KOTTEGODA, N.T.; ROSSO, R. (2008) *Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers*. Nova York: Blackwell Publishing. 736 p.
- LARSSON, M.; PARENA, R.; SMEETS, E.; TROQUET, I. (2002) *Process Benchmarking in the Water Industry*. Manual of Best Practice Series. Londres: IWA Publishing. 62 p.
- MAIELLO, A.; BRITTO, A.L.N.P.; MELLO, Y.R.; BARBOSA, P.S.O. (2015) (Un)used and (un)usable? The role of indicators in local decision-making. A Brazilian case study. *Futures*, n. 74, p. 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.11.002>
- MEADOWS, D. (1998) *Indicators and information systems for sustainable development*. Hartland: The Sustainability Institute.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. (2001) *Introduction to Linear Regression Analysis*. Nova York: Wiley-Interscience. 641 p.
- MOTTA, R.S.; MOREIRA, A. (2006) Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. *Utilities Policy*, v. 14, n. 3, p. 185-195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2006.03.002>
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. (2007) *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552 p.
- NETER, J.; KUTNER, M.; NACHTSHEIM, C.; LI, W. (2004) *Applied Linear Statistical Models*. Nova York: McGraw-Hill/Irwin. 1396 p.
- PEROTTO, E.; CANZIANI, R.; MARCHESI, R.; BUTELLI, P. (2008) Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Clean Production*, v. 16, n. 4, p. 517-530. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.01.004>

ROUSSEUW, P.J.; VAN ZOMEREN, B.C. (1990) Unmasking multivariate outliers and leverage points. *Journal of the American Statistical Association*, v. 85, n. 411, p. 633-651. <http://dx.doi.org/10.2307/2289995>

SABBIONI, G. (2008) Efficiency in the Brazilian sanitation sector. *Utilities Policy*, v. 16, n. 1, p. 11-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2007.06.003>

SANTOS, R.C.L.; LIMA, A.S.; CAVALCANTI, E.B.; MELO, C.M.; MARQUES, M.N. (2018) Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 1, p. 33-46. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522017159832>

SCRIPTORE, J.S.; TONETO JÚNIOR, R. (2012) A estrutura de provisão dos serviços de saneamento básico no Brasil: uma

análise comparativa do desempenho dos provedores públicos e privados. *Revista de Administração Pública*, v. 46, n. 6, p. 1479-1504. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-76122012000600004>

SOARES, A.K.; CHEUNG, P.B.; REIS, L.F.R.; SANDIM, M.P. (2004) Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 312-321. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000400008>

TARDELLI FILHO, J. (2016) Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. *Revista DAE*, v. 64, n. 201, p. 6-20. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2015.012>

YEVJEVICH, V.M. (1964) *Handbook of Applied Hydrology: Regression and correlation analysis*. Nova York: McGraw-Hill. 845 p.

