



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



Brazilian Journal of
Production Engineering

BJPE - Revista Brasileira de Engenharia de Produção



Campus São Mateus

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO PRESTADOS NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SANITATION SERVICES PROVIDED IN THE MUNICIPALITIES OF THE BELO HORIZONTE METROPOLITAN REGION BY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Alex Lima de Sales Barbosa¹, Diego Alexander Souza Tomaz² & Andressa Amaral de Azevedo³

^{1 2 3} Departamento de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. lima.alex45@yahoo.com.br
ast.diego96@gmail.com andressa@pucminas.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 17/12/2019

Aprovado em: 21/02/2019

Disponibilizado em: 07/04/2019

PALAVRAS-CHAVE:

Análise Envoltória de Dados, Eficiência, Saneamento Básico.

KEYWORDS:

Data Envelopment Analysis, Efficiency, Basic Sanitation.

*Autor Correspondente: Alex Lima de Sales Barbosa.

RESUMO

O saneamento básico é de suma importância para o bem-estar e manutenção dos recursos naturais da população brasileira. O presente trabalho tem como objetivo analisar e propor uma metodologia de medição da eficiência do fornecimento de água potável e esgotamento sanitário em alguns municípios do estado de Minas Gerais, mediante a utilização do método análise envoltória de dados. Posteriormente, irá se verificar a relação entre a eficiência dos municípios e algumas hipóteses

levantadas que ao final da pesquisa possam ser confirmadas ou descartadas. Assim, esse artigo pauta-se principalmente na proposição de uma metodologia de pesquisa e posteriormente à sua execução, poder concluir o que realmente influencia na eficiência deste serviço tão necessário para a população.

ABSTRACT

The basic sanitation has a great importance for the well-being and maintenance of the natural resources of the Brazilian population. The objective of the present work is to propose a methodology for measuring the efficiency of drinking water supply and sanitary sewage in some municipalities in the state of Minas Gerais, using the data envelopment analysis method. Later, it will be verified the relation between the efficiency of the municipalities and some hypotheses that were raised and in the end of the research, they will be confirmed or discarded. Therefore, this article is mainly based on the proposition of a research methodology and after its execution, we can be able to conclude what really influences the efficiency of this much-needed service for the population.



1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é o conjunto de medidas que visam garantir a preservação ambiental e manutenção de resíduos, por meio de serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem, limpeza urbana e manejos de resíduos sólidos e águas pluviais (FUNASA, 2006). Em outras palavras, pode-se dizer que o mesmo, caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que objetivam o alcance da salubridade ambiental. A preocupação da população a respeito do mesmo esteve quase sempre relacionada com a transmissão de doenças e a preservação da saúde. Entretanto, atualmente, com o crescente aumento da população mundial, o conseqüente aumento de resíduos e o descarte irresponsável dos mesmos levam a uma nova preocupação: a escassez dos recursos naturais (RIBEIRO et al., 2010).

Em uma pesquisa recente promovida pela Fundação Nacional de Saúde no ano de 2015, observou-se que cerca de 90% da população urbana brasileira é atendida com água potável e 60% com redes coletoras de esgotos. “O déficit, ainda existente, está localizado, basicamente, nos bolsões de pobreza, ou seja, nas favelas, nas periferias das cidades, na zona rural e no interior” (FUNASA, 2015). Com a finalidade de diminuir o impacto ambiental, promover o aumento da qualidade de vida da população e a prevenção de doenças, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007 (BRASIL, 2007). Investir em Saneamento pode resultar diretamente em menores gastos na área da saúde, melhorando a qualidade de vida da população. De acordo com Mota *et al.* (2012), o saneamento é uma meta comum diante de sua essencialidade à vida humana e à preservação do meio ambiente, evidenciando seu caráter público e o dever do governo em promovê-lo, sendo um bem social que integra políticas públicas e sociais.

Na presente pesquisa, pode-se inferir como questão principal: Quão eficiente é o fornecimento de água e esgoto na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)? Esta não é uma pergunta de simples resposta. Diante disso, torna-se necessária a utilização de métodos consolidados, onde, através destes, seja possível retirar-se conclusões pertinentes. A Engenharia de Produção possui o ferramental necessário para o desempenho de tal análise. Castro (2003) aponta a metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA), traduzida como Análise Envoltória de Dados, como uma ferramenta confiável para avaliar a eficiência da



prestação de serviços de saneamento básico com a disposição dos dados disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Define-se como objetivo deste trabalho a avaliação da eficiência dos municípios na oferta de serviços de saneamento básico (fornecimento de água) na RMBH com a utilização do método DEA. Outrossim, de modo a direcionar os procedimentos metodológicos bem como definir o escopo de atuação desta pesquisa, são definidas as seguintes hipóteses a serem confirmadas ou descartadas no desenvolvimento deste trabalho:

- Quanto maior o PIB *per capita* de um município, maior será a eficiência dos serviços de saneamento prestados;
- A eficiência dos serviços de saneamento prestados possui relação com a predominância da população do município em áreas urbanas;
- Quanto mais próximo determinado município estiver da capital do estado, este irá dispor de mais recursos para prestar serviços de saneamento com maior eficiência.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Considerações Gerais

A DEA é um método não paramétrico, surgido formalmente em 1978 com o trabalho de Charnes, Copper e Rhodes (1978), com o objetivo de medir a eficiência de unidades tomadoras de decisão, designadas por *Decision Making Units* (DMUs), na presença de múltiplos fatores de produção (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*). As DMUs são unidades que utilizam os mesmos tipos de insumos para a produção dos mesmos bens e/ou serviços. Secchim (2018) considera que esses insumos e produtos podem ser variáveis contínuas, ordinais ou categóricas e podem ser medidas em diferentes unidades, tendo como exemplo: reais, números de alunos, metros quadrados, tempo médio de formação, etc. O que as difere são as quantidades de recursos (*inputs*) utilizados e de produtos gerados (*outputs*). A técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores de eficiência produtiva relativa teve origem no trabalho de Farrel (1957) e foi generalizada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com o intuito de trabalhar com múltiplos insumos e produtos.



Modelos DEA Clássicos

Há dois modelos DEA clássicos: CCR (de Charnes, Cooper e Rhodes) e BCC (de Banker, Charnes e Cooper). O modelo CCR (também conhecido por CRS ou *Constant Returns to Scale*), trabalha com retornos constantes de escala (CHARNES, COOPER E RHODES, 1978). Em sua formulação matemática considera-se que cada DMU k , $k = 1, \dots, s$, é uma unidade de produção que utiliza n inputs x_{ik} , $i = 1, \dots, n$, para produzir m outputs y_{jk} , $j = 1, \dots, m$. Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos outputs e a combinação linear dos inputs, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1. Mediante alguns artifícios matemáticos, este modelo pode ser linearizado, transformando-se em um Problema de Programação Linear (PPL) apresentado na fórmula (1), onde h_o é a eficiência da DMU o em análise; x_{io} e y_{jo} são os *inputs* e *outputs* da DMU $_o$; v_i e u_j são os pesos calculados pelos modelos para inputs e outputs.

(1)

$$\begin{aligned} \max h_o &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jo}, \text{ sujeito a} \\ &\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1 \\ &\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, \dots, s \\ &u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y \end{aligned}$$

O modelo BCC, também chamado de VRS (*Variable Returns to Scale*) considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* (BANKER, CHARNES E COOPER, 1978). Apresenta-se na fórmula (2) a formulação do problema de programação fracionária, previamente linearizado, para este modelo. Na mesma, h_o é a eficiência da DMU $_o$ em análise; x_{ik} representa o input i da DMU $_k$, y_{jk} representa o output j da DMU $_k$; v_i é o peso atribuído ao input i , u_j é o peso atribuído ao output j ; u^* é um fator de escala.

$$\max h_o = \sum_{j=1}^m u_j y_{jo}, \text{ sujeito a}$$



(2)

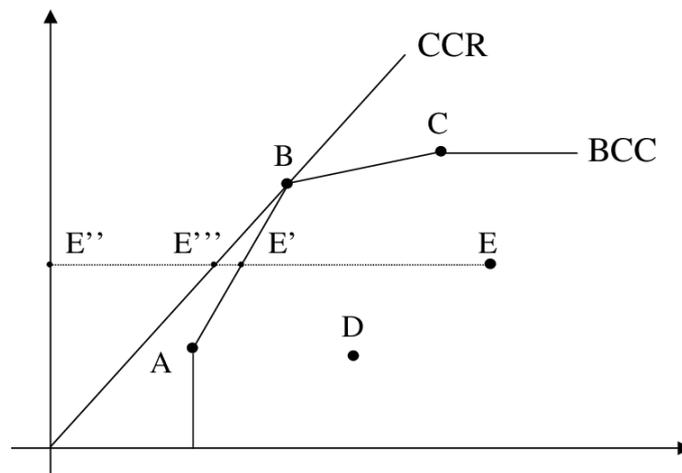
$$\sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, \dots, s$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y$$

A Figura 1 mostra as fronteiras DEA BCC e CCR para um modelo DEA bidimensional (1 *input* e 1 *output*). As DMUs A, B e C são BCC eficientes; a DMU B é CCR eficiente. As DMUs D e E são ineficientes nos dois modelos. A eficiência CCR e BCC da DMU E é dada, respectivamente, por $(\overline{E''E'''} / \overline{E''E})$ e $(\overline{E''E'} / \overline{E''E})$.

Figura 1 – Fronteiras DEA BCC e CCR para o caso bidimensional.



Fonte: Adaptado de Gomes Júnior et al. (2006).

Além de identificar as DMUs eficientes, os modelos DEA permitem medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que fornece a referência para as DMUs ineficientes. Essa referência é determinada pela projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A forma como é feita esta projeção determina a orientação do modelo: orientação a *inputs* (quando se deseja minimizar os recursos, mantendo os valores dos resultados constantes) e orientação a *outputs* (quando se deseja maximizar os resultados sem diminuir os recursos).



2.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO POR MEIO DE MODELOS DEA

Na literatura são encontrados diversos trabalhos que buscam avaliar a eficiência da prestação de serviços de saneamento por meio de modelos fundamentados em DEA. Assim, antes de adentrarmos na estruturação do modelo a ser empregado, apresenta-se na tabela abaixo, uma breve revisão de importantes estudos nacionais e internacionais que utilizaram a DEA para analisar a eficiência no setor de saneamento.

Tabela 1 – Estudos de mensuração da eficiência do setor de saneamento utilizando a técnica DEA

Autor (ANO)	Descrição	País	Variáveis Utilizadas	Método
Aida <i>et al.</i> (1998)	Avaliação da possibilidade de uso da DEA como ferramenta para avaliar o desempenho dos prestadores de serviços de água, sob as leis de águas do Japão.	Japão	<i>INPUT (5)</i> - Quantidade Equivalente de Pessoal; - Despesa de Exploração; - Ativo Produtivo; - População Total do Município Atendido; - Extensão da Rede de Água. <i>OUTPUT (2)</i> - Volume de Água Consumido; - Receita Operacional de Água.	DEA-BCC orientado a <i>output</i>
Thanassoulis (2000)	Utilização da DEA para estabelecer limites de preços para revisão de tarifas, fixadas pelo OFWAT (<i>Office of Water Service</i>), na Inglaterra e Gales.	Inglaterra	<i>OUTPUT (3)</i> - Número de conexões servidas; - Comprimento da Rede de Água; - Quantidade de Água Entregue. <i>INPUT (1)</i> - Despesas Operacionais.	DEA-BCC orientado a <i>output</i> .
Castro (2003)	Verificação da aplicabilidade da metodologia DEA ao setor de saneamento brasileiro.	Brasil	<i>OUTPUT (4)</i> - Volume de Água Consumido; - Extensão da Rede de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Água; - Quantidade de Ligações Ativas de Esgoto. <i>INPUT (1)</i> - Despesas de Exploração.	DEA-BCC orientado a <i>output</i> .
Carmo e Távora Jr. (2003)	Utilização da DEA para mensurar as eficiências técnica e econômica dos prestadores de serviços de saneamento de abrangência estadual.	Brasil	<i>OUTPUT (4)</i> - Volume de Água Faturado; - Volume de Esgoto Faturado; - Quantidade de Economias Ativas de Água; - Quantidade de Economias Ativas de Esgoto. <i>INPUT (5)</i> - Mão De Obra; - Volume de Água Produzido;	DEA-CCR; DEA-BCC orientados a <i>output</i> .



			- Volume de Esgoto Coletado; - Extensão da Rede de Água; - Extensão da Rede de Esgoto.	
Cruz e Ramos (2012)	Utilização da DEA para analisar a eficiência da Gestão do Saneamento Básico e seus impactos sobre a promoção da saúde.	Brasil	<i>OUTPUT (1)</i> - Número de Crianças, Acima de 5 Anos que Sobrevivem. <i>INPUT (5)</i> - Cobertura por Redes de Abastecimento de Água; - Cobertura por Redes Coletoras de Esgoto; - Grau de Urbanização; - Médicos por Grupos de 1.000 habitantes; - PIB Per Capita.	DEA-BCC orientado a <i>output</i> .
Horaa et al. (2015)	Utilização da DEA para analisar a eficiência da prestação de serviços de saneamento dos municípios do estado do Rio de Janeiro	Brasil	<i>OUTPUT (4)</i> - Volume de Água Consumido; - Extensão da rede de água; - Quantidade de ligações ativas de água; - Quantidade de ligações ativas de esgoto. <i>INPUT (1)</i> - Despesas de exploração.	DEA-BCC orientado a <i>output</i> .

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pelo exposto, o emprego de modelos DEA na avaliação da eficiência da prestação de serviços de saneamento é recorrente na literatura. Este trabalho busca contribuir para o debate ao avaliar, especificamente, os municípios presentes em uma mesma região específica do estado de Minas Gerais, o que favorece a identificação de *benckmarks* mais realistas, pois se compara o desempenho de DMUs que estão sujeitas às mesmas condições macro ambientais.

2.3 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson (r) ou coeficiente de correlação produto-momento ou o r de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas (FIGUEIREDO FILHO, 2009). É um índice adimensional com valores situados ente -1 e 1, inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados (PONTES, 2010). Este coeficiente, normalmente representado pela letra " r " assume apenas valores entre -1 e 1. O coeficiente $r= 1$, significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. Já o coeficiente $r= -1$, significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis. Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui. Por fim, $r= 0$, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma outra dependência que seja "não linear". Assim, o resultado $r=0$ deve ser investigado por outros



meios (RICHARDSON, 1989). A forma de cálculo do modelo de correlação de Pearson é apresentada na fórmula 3, apresentada abaixo:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Em que:

r = coeficiente de correlação entre as variáveis;

\sum = somatório

x = valor assumido pela variável independente;

\bar{x} = média aritmética simples dos valores de x ;

y = valor assumido pela variável dependente;

\bar{y} = média aritmética simples dos valores de y ;

$x - \bar{x}$ = diferença entre cada valor de x e a média aritmética \bar{x} ;

$y - \bar{y}$ = diferença entre cada valor de y e a média aritmética \bar{y} ;

De acordo com Shimakura (2006) existe uma forma qualitativa de se interpretar o coeficiente de correlação de Pearson, uma escala que nos dá indícios da intensidade com que esses dados se correlacionam. A Tabela 2 nos mostra essa escala:

Tabela 2: Escala de interpretação do coeficiente de correlação

Valor de p (+ ou -)	Interpretação
0.000 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Fonte – Adaptado de Shimakura (2006)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, a técnica proposta a utilizar-se para medir a eficiência na prestação de serviços de saneamento será a metodologia DEA. Em geral, o objetivo desta metodologia, é medir a



eficiência comparada entre unidades de produção que desenvolvam a mesma atividade quanto à utilização de seus recursos e classificá-las em eficientes ou não-eficientes e dar uma medida relativa da eficiência para as não-eficientes. Além disso, outros objetivos da metodologia DEA consistem em estabelecer um ou mais *benchmarks* e posicionar as outras unidades em relação a eles ou ordená-las segundo as eficiências calculadas.

O modelo é baseado num problema de programação fracionária onde a medida de eficiência é obtida através da razão da soma ponderada dos produtos pela soma ponderada dos insumos. Esta técnica, também permite analisar a eficiência de unidades produtivas (DMUs) com múltiplos insumos (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*) através da construção de uma fronteira de eficiência, de tal forma que as unidades que possuem a melhor relação "produto/insumo" serão consideradas mais eficientes e estarão situadas sobre esta fronteira e, as menos eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira, conhecida como envelope (envoltória). Os modelos DEA fazem a agregação de *inputs* e *outputs* transformando-os em, respectivamente, *inputs* e *outputs* virtuais, resultantes de uma combinação linear dos *inputs* e *outputs* originais. Os pesos usados nesta combinação linear são calculados através de um problema de programação linear, de forma que cada DMU se beneficie com a melhor combinação de pesos, maximizando sua eficiência.

O modelo proposto a ser utilizado na análise de eficiência na prestação dos serviços de saneamento será o DEA orientado a *outputs*. Segundo Rodrigues et al. (2017), a orientação a *outputs* é apropriada porque se fosse adotada a orientação a *inputs* o objetivo seria reduzir os insumos, mantendo-se os níveis atuais de produtos. Isso não é razoável, pois conforme definido por Ribeiro e Rooke (2010), as medidas de saneamento básico devem prezar pelo abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto. Assim, os cálculos foram feitos orientados aos resultados, verificando-se a possibilidade de ser mais eficiente através da utilização dos mesmos recursos. Os dados utilizados foram extraídos do SNIS, tendo como base o ano de 2016, pois esse é o ano que contem a disponibilização de dados mais recente do sistema.

O SNIS fornece mais de uma centena de indicadores, sobre água, esgoto, resíduos sólidos, financeiros, qualidade, entre outros. Este trabalho considera apenas os dados de fornecimento de água e saneamento (aqui entendido somente como esgotamento sanitário), não abrangendo



os dados de manejos de resíduos sólidos ou de águas pluviais. Ao considerar-se os dados de fornecimento de água e saneamento e explorar a base de dados do SNIS, Horaa et al. (2015) cita que destacam-se os indicadores apresentados na Tabela 3, que são aptos a servirem de critério para a Análise Envoltória de Dados:

Tabela 3 - Conjunto de indicadores propostos para a análise.

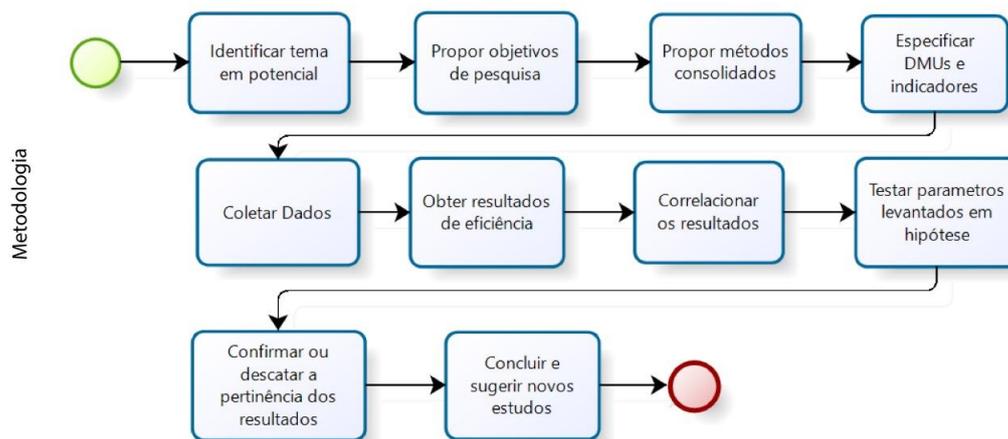
Inputs	Outputs
Despesas de Exploração (FN015).	Volume de água consumido (AG010); Extensão da rede de água (AG005); Quantidade de ligações ativas de água (AG002);

Fonte – Sistema Nacional de informações sobre Saneamento, 2016.

Para executar os procedimentos da análise envoltória de dados e obter assim os valores de eficiência na prestação de serviços de saneamento dos municípios da RMBH foi utilizado o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD), disponibilizado gratuitamente em <http://www.uff.br/decisao/>.

A metodologia de pesquisa foi organizada em uma sequência lógica de etapas, possibilitando assim uma melhor visualização das ideias desenvolvidas através da criação do fluxograma proposto na Figura 1.

Figura 2: Sequência de etapas que norteiam o desenvolvimento da metodologia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na presente pesquisa, optou-se por estudar a população que está inserida nos municípios que compõe a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e o Colar Metropolitano da RMBH. Como base de dados para o desempenho da pesquisa, estes municípios serão



considerados as DMUs. Também chamada de grande Belo Horizonte, a RMBH foi criada em 1973 pela Lei Complementar Federal n.º 14/73, e, atualmente, é regulamentada por leis complementares do Estado de Minas Gerais (LEC n.º88/2006 e LEC n.º 89/2006). Esta mesma lei, define o Colar Metropolitano de Belo Horizonte como sendo a formação de municípios do entorno da RMBH atingidos pelo processo de metropolização. A RMBH é a terceira maior aglomeração urbana do Brasil, a maior do Brasil fora do eixo Rio-São Paulo. É ainda o 88º maior aglomerado urbano do mundo. Ademais, a mesma é o centro político, financeiro, comercial, educacional e cultural de Minas Gerais. A RMBH é constituída por 34 municípios, além de outros 16 municípios situados no Colar Metropolitano (BRASIL, 2006).

Devido à falta de dados disponibilizados pelo SNIS, o município de Rio Acima não pôde ser considerado na presente pesquisa. Assim na mesma, foram estudados 49 municípios localizados na RMBH e no Colar Metropolitano da RMBH.

Os dados de caracterização dos municípios (porcentagem da população residente em zona urbana e PIB *per capita*) foram obtidos junto à pesquisa censo do IBGE de 2010. Já as distâncias entre os respectivos municípios da RMBH e a capital Belo Horizonte foram obtidos através de informações disponibilizadas pelo Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais (DER-MG). Diante de tais informações, para a verificação das hipóteses do relacionamento entre a eficiência do saneamento básico das DMUs e sua porcentagem de população urbana, PIB *per capita* e distância entre um município e a capital do estado, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson. “Esse coeficiente (*r*) mensura o grau de associação entre duas medições e varia no intervalo $-1 \leq r \leq 1$ ” (RICHARDSON, 1989).

Para o desenvolvimento do estudo de correlação, utilizou-se o *software* Minitab. Desenvolvido em 1972 na Universidade Estadual da Pensilvânia, segundo Ortiz, Toscano (2010), este *software* é um exemplo de pacote estatístico largamente utilizado por empresas e universidades ao redor do mundo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de eficiência na prestação dos serviços de saneamento pelos municípios da RMBH após a utilização do método DEA são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Eficiência dos municípios na prestação de serviços de saneamento

Município	Eficiência	Município	Eficiência	Município	Eficiência
-----------	------------	-----------	------------	-----------	------------



Belo Horizonte	1,000000	Ibirité	0,924573	Itatiaiuçu	0,694503
Betim	1,000000	Santa Luzia	0,888068	Itabirito	0,688705
Caeté	1,000000	Nova Lima	0,882985	Pará de Minas	0,676790
Contagem	1,000000	São José da Varginha	0,857243	Funilândia	0,666992
Esmeraldas	1,000000	Mateus Leme	0,834264	Nova União	0,655582
Florestal	1,000000	Sarzedo	0,827147	Bonfim	0,637920
Fortuna de Minas	1,000000	Baldim	0,823771	Raposos	0,625033
Juatuba	1,000000	Belo Vale	0,823175	São Joaquim de Bicas	0,623233
Lagoa Santa	1,000000	Igarapé	0,812516	Moeda	0,613918
Ribeirão das Neves	1,000000	Itaúna	0,804628	Prudente de Moraes	0,602911
São Gonçalo do Rio Abaixo	1,000000	Brumadinho	0,796459	São José da Lapa	0,600022
Sete Lagoas	1,000000	Sabará	0,777161	Itaguara	0,589503
Inhaúma	0,981611	Rio Manso	0,776954	Jaboticatubas	0,581372
Mário Campos	0,977880	Vespasiano	0,772525	Bom Jesus do Amparo	0,571683
Capim Branco	0,963431	Pedro Leopoldo	0,767504	Taquaraçu de Minas	0,543269
Barão de Cocais	0,963103	Confins	0,721874		
Santa Bárbara	0,953698	Matozinhos	0,697082		

Fonte - Elaborado pelos autores a partir do resultado da pesquisa.

Esses resultados permitiram identificar e reconhecer as melhores práticas. Cumpre analisar a causa da eficiência, para identificar possíveis irracionalidades nas unidades ineficientes. Por exemplo, o município de Brumadinho, cidade onde se localiza o Sistema produtor de água “Rio Manso”, que após seu processo de reforma e ampliação no período entre 2013-2015 tornou-se o sistema produtor de água tratada mais tecnológico da América Latina e que dispõe de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) com capacidade de tratar uma média 6,200 m³/s de água e a fornece a aproximadamente 30% da população residente na RMBH (COPASA, 2018), pode aumentar seus resultados em 20,4%, uma vez que com os atuais insumos que disponibiliza, essa unidade pode produzir uma combinação maior de produtos.

Já o município de Nova Lima, a qual se localiza o Sistema produtor de água “Rio das Velhas”, que é o maior sistema de produção individual de água da Companhia de Saneamento



de Minas Gerais (COPASA-MG), com vazão de outorga de 8,771 m³/s, e atende a aproximadamente 40% do abastecimento de água em toda a RMBH (COPASA, 2018), necessita aumentar seus resultados em 11,7%, para que seja considerado uma DMU eficiente. Essa informação pode ser utilizada para apoiar uma melhoria na prestação de serviços. Também, esses dados dão subsídios para a implantação de um sistema de controle e avaliação institucional.

Diante de tal análise, destacam-se como eficientes os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ribeirão das Neves, Sete Lagoas, Lagoa Santa, Esmeraldas, Caeté, Florestal, Juatuba, Fortuna de Minas e São Gonçalo do Rio Abaixo. Dentre estes, destacam-se os cinco últimos municípios mencionados por serem de pequeno porte, mas utilizarem bem os seus recursos.

Dentre os municípios considerados ineficientes, destacam-se Taquaraçu de Minas, Bom Jesus do Amparo, Jaboticatubas e Itaguara, pois quando comparados aos demais municípios diante da análise em estudo, obtiveram valores de eficiência inferiores a 60%.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da correlação de Pearson, executados com o auxílio do software Minitab.

Tabela 4: Resultado da correlação de Pearson

	Eficiência e PIB <i>per capita</i>	Eficiência e % de População Urbana	Eficiência e Distância para a capital
n (pares)	49	49	49
r (Pearson)	0,1170	0,458	0,056
R²	0,0137	0,2098	0,0031
(p)	0,424	0,001	0,700

Fonte - Elaborado pelos autores a partir do resultado da pesquisa.

É possível destacar que o valor de correlação é bem fraco entre a eficiência e o PIB *per capita* (0,1170) e entre eficiência e a distância do respectivo município para a capital do estado (0,056) e moderado entre eficiência e porcentagem da população urbana (0,458).

Ao analisar o valor de p do teste de hipótese, para a correlação entre eficiência e a distância do município para a capital do estado, assume-se que um valor não influencia o outro. Esse fato torna-se perceptível ao observar-se os escores de eficiência obtidos pelos municípios de



Sarzedo (0,82), Ibitité (0,92), Santa Luzia (0,88), Sabará (0,77), Nova Lima (0,88) e Raposos (0,62). Identifica-se que estes, precisam ser melhorados de acordo com a disposição de recursos e pelo fato dos municípios estarem situados a poucos quilômetros de distância da capital Belo Horizonte, estando estes a 31, 21, 27, 19, 22 e 33 quilômetros, respectivamente distantes. Em contrapartida, têm-se os municípios de Fortuna de Minas e São Gonçalo do Rio Abaixo que apesar de se situarem a uma grande distância da capital, 120 e 89 quilômetros respectivamente, são capazes de prestar um serviço de saneamento com eficiência.

Ao analisar o valor de p do teste de hipótese, para a correlação efetuada entre eficiência e PIB *per capita*, também se assume que não há uma influência direta entre os valores. Tal afirmação é confirmada ao se analisar que os municípios de Brumadinho (0,79), Confins (0,72), Itatiaiuçu (0,69), Nova Lima (0,88) não foram considerados plenamente eficientes a partir da análise, apesar de disporem de altos valores de PIB *per capita*, sendo estes R\$80.945,24, R\$150.763,29, R\$159.386,78 e R\$109.298,94, respectivamente. Além disso, a análise dos resultados de municípios como Caeté, Esmeraldas, Florestal, Ribeirão das Neves e Fortuna de Minas contribui para o advento da afirmação, pelo fato destes, terem obtido 1,0 como valor referente ao escore de eficiência, apesar de seu PIB *per capita* ser de apenas R\$12.319,47, R\$7.401,82, R\$10.766,63, R\$9.091,72 e R\$11.808,97, respectivamente.

Do mesmo modo, ao observar-se o valor de p do teste de hipótese entre a eficiência e a porcentagem de população urbana de um município, rejeita-se a hipótese que estas variáveis não estejam correlacionadas, e assume-se que há sim alguma influência significativa. A comprovação dessa afirmação se dá ao analisar que municípios como Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ribeirão das Neves e Sete Lagoas, são capazes de prestar serviços de saneamento básico com eficiência, tendo obtido escore de 1,0 e terem quase um total de 100% de sua população residindo em áreas urbanas. Ademais, em municípios como Moeda, Nova União, Bonfim, Taquaraçu de Minas e Bom Jesus do Amparo, menos da metade de sua população total reside em zonas urbanas e estes, são considerados ineficientes na prestação dos serviços de saneamento básico.

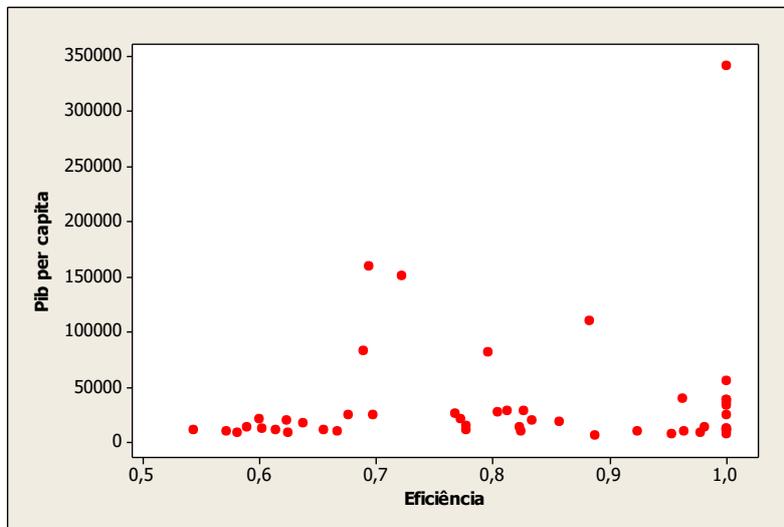
Por fim, observa-se que os dados coletados no SNIS, referentes aos *inputs* e *outputs* da análise, não sofreram uma alteração relevante do ano de 2010, a qual são analisados os dados do IBGE, até o ano de 2016, que serviu como período base para a pesquisa. Ademais, ao analisar o trabalho de Horaa (2015), constata-se a obtenção de resultados semelhantes no que



diz respeito à correlação entre a eficiência dos serviços de saneamento prestados pelos municípios do estado do Rio de Janeiro e parâmetros como o PIB *per capita* e o percentual da população residente em áreas urbanas.

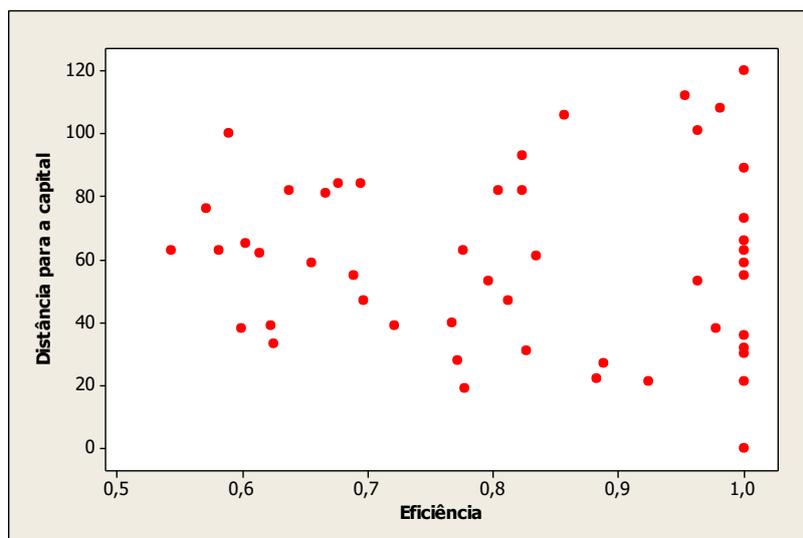
O R^2 pode ser interpretado como a proporção de um comportamento que pode ser atribuído a outro e, em ambos os casos, também são inexpressivos, com 0,31%, 1,37% e 20,98%, respectivamente. Estes resultados podem ser observados nas Figuras 3,4 e 5.

Figura 3: Gráfico de correlação entre eficiência e PIB per capita.



Fonte - Elaborado pelos autores a partir do resultado da pesquisa.

Figura 4: Gráfico de correlação entre eficiência e distância dos municípios para a capital.

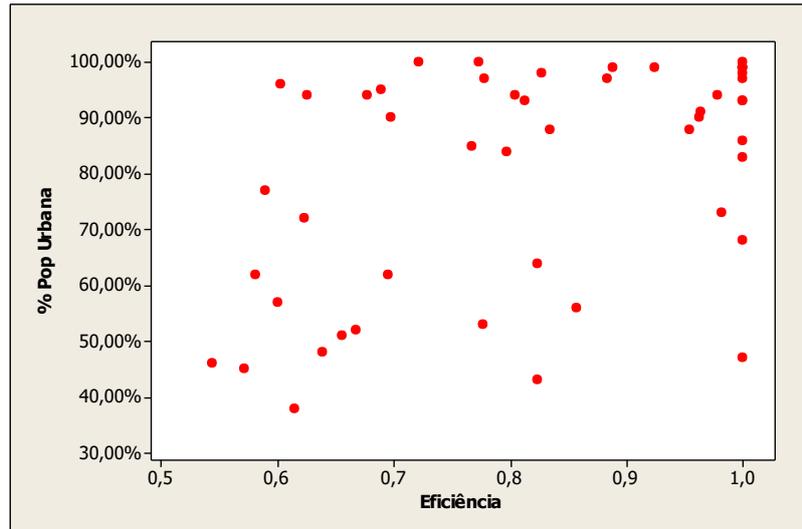


Fonte - Elaborado pelos autores a partir do resultado da pesquisa.



Ao visualizarem-se as Figuras 3 e 4, não se percebe nenhum relacionamento entre as variáveis. Esse fato constata a veracidade do resultado do teste estatístico em que o comportamento do PIB per capita e da distância dos municípios para a capital, em nada muda a eficiência dos serviços prestados de saneamento básico no município.

Figura 5: Correlação entre a eficiência e a porcentagem da população urbana.



Fonte - Elaborado pelos autores a partir do resultado da pesquisa.

Já na análise da figura 5, é possível supor uma linha imaginária crescente entre as variáveis de "porcentagem da população residente em zona urbana" e "eficiência". Mesmo que a correlação seja modesta, ela é perceptível analisando-se os resultados obtidos por meio dos cálculos, conforme a Tabela 3.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da importância da prestação dos serviços de saneamento com qualidade, visando assim o bem-estar e a saúde da população, é necessário propor que a eficiência destes seja medida e avaliada. Assim, propõe-se utilizar o método da análise envoltória de dados. Além disso, a pesquisa utiliza-se de hipóteses que foram testadas a partir de um método de correlação entre variáveis com o intuito de generalizar o estudo de caso.

No presente estudo, constatou-se que dos 49 municípios analisados e que estão localizados na RMBH e no colar da RMBH, apenas 12 destes podem ser considerados plenamente eficientes na prestação de serviços de saneamento, maximizando seus resultados através da utilização de seus recursos.



A pesquisa partiu de três hipóteses que foram testadas durante a investigação científica:

- Quanto maior o PIB *per capita* de um município, maior será a eficiência dos serviços de saneamento prestados;

Por ser conhecido que quanto mais se investe em saneamento, mais a população irá se beneficiar de melhorias na saúde (FUNASA, 2006), acreditava-se que estas variáveis estariam altamente correlacionadas, porém o teste de hipóteses indica o contrário, assumindo-se que estas variáveis não se relacionam entre si.

- A eficiência dos serviços de saneamento prestados possui relação com a predominância da população do município em áreas urbanas;

A segunda hipótese levantada no trabalho é confirmada estatisticamente, haja vista que mesmo em intensidade moderada, é possível afirmar que municípios com predominância de população urbana possuem um serviço de saneamento básico mais eficiente do que os de população rural.

- Quanto mais próximo determinado município estiver da capital do estado, este irá dispor de mais recursos para prestar serviços de saneamento com maior eficiência.

Acreditava-se que quanto mais próximo um município estivesse da capital do estado, este, teria mais recursos disponíveis para prestar um serviço eficiente de saneamento básico. Entretanto, a análise dos resultados da correlação não confirma tal proposição, concluindo que essas variáveis não têm influência uma na outra.

Dessa forma, o desenvolvimento prático deste trabalho contribuiu para a prática profissional do Engenheiro de Produção utilizando-se de técnicas da Pesquisa Operacional e Gestão Ambiental para fornecer um relatório técnico preciso sobre a situação do fornecimento de serviços de saneamento básico nos municípios da RMBH.

Este trabalho explorou a correlação entre a eficiência dos serviços e três variáveis, sendo todas estas, testadas estatisticamente. Contudo, a presente pesquisa não envolve dados que caracterizam conclusões que representem a importância da eficiência dos serviços de saneamento básico no que diz respeito à saúde da população. Dessa forma, é possível promover um quarto teste estatístico pela comparação da eficiência municipal na prestação dos serviços de saneamento básico com o índice anual de doenças relacionadas com água e esgoto. Tais informações são disponibilizadas pelo DATASUS.



Por fim, através da presente análise, avaliou-se apenas o último dado disponível na base, entretanto, é possível realizar a mesma análise para os anos anteriores, e verificar não somente o retrato das eficiências no ano base da pesquisa, como também a sua evolução com o passar dos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDA, Kazuo et al. Evaluating Water Supply Services in Japan with RAM: a Rangeadjusted Measure of Inefficiency. **Omega- International Journal of Management Science**, v. 26, n. 2, p. 207-232, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048397000728>>. Acesso em: 09 nov. 2012.

BRASIL. Lei Complementar nº 14, de 8 DE Junho de 1973. **Presidência da República**. Consultado em 16 de agosto de 2018.

BRASIL. Lei Complementar 89, de 12/01/2006. **Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais**. Consultado em 16 de agosto de 2018.

CARMO, Cinthya Melo do; TÁVORA JÚNIOR, José Lamartine. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. **Encontro Nacional de Economia**, v. 31, 2003.

CASTRO, C. E. T. Avaliação da eficiência gerencial de empresas de água e esgotos brasileiras por meio da envoltória de dados (DEA) [Dissertação de Mestrado]. **Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2003.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.



CRUZ, Karlos Eduardo Arcaño; RAMOS, Francisco de Souza. Eficiência na gestão do saneamento básico e seus impactos sobre a promoção da saúde: uma aplicação da análise envoltória de dados–DEA. XVII ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA, 2012.

DA HORAA, Ariele Lorena Barbosa et al. Análise da eficiência dos serviços de saneamento básico nos municípios do estado do Rio de Janeiro. 2015.

DE CÁSSIO RODRIGUES, Alexandre; DE MUYLDER, Cristiana Fernandes; PENEDO, Marcelle Ursine Oliveira. Eficiência no ensino superior privado: uma avaliação das instituições ofertantes do curso de engenharia de produção em belo horizonte/mg. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 3, n. 3, p. 19-30, 2017.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). 2009.

FUNASA. (2015). **Manual de saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde.

GERAIS, Minas. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Abastecimento de água na RMBH pelos Sistemas Rio Manso e Rio das Velhas. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/abastecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios>. Acesso em 16 de Dezembro de 2018.

GERAIS, Minas. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. Distâncias entre os municípios mineiros e Belo Horizonte. Disponível em: <http://200.198.22.36/html/servicos/distancias.html>. Acesso em 26 de Novembro de 2018.

GOMES JUNIOR, S. F.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Avaliação do campeonato mundial de Fórmula 1 com análise envoltória de dados. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção da UFF**, v. 6, n. 6, 2006.

IBGE (2010). **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008**. Rio de Janeiro: IBGE.



IBGE (2012). **Pesquisa CENSO 2010, 2012.** Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 ago 2018.

JÚNIOR, Silvio Figueiredo Gomes; DE MELLO, J. Soares. Emprego de métodos ordinais multicritério na análise do campeonato mundial de fórmula. **Simpósio de Pesquisa Operacional E Logística Da Marinha**, p. 10, 2007.

MEZA, Lidia Angulo et al. ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD-Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2012). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Brasília: Notorium Tecnologia em Software.

MOTA, C. N. Da S.; SAMPAIO FILHO, S. A. C.; SANTOS, V. R. A. dos; HORA, H. R. M. da; Costa, H. G.; BARBOSA, A. L.. (2012). **A multicriteria approach for the evaluation and classification of Brazilian capital cities according to the basic sanitation services**. In: IX CONGRESO LATINOAMERICANO IIE CIUDADES EN CRECIMIENTO. Bogotá: Institute of Industrial Engineers.

ORTIZ, R. J. F.; TOSCANO, E. M. M. D. **Estatística usando MINITAB**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Exatas, 2010. 78p.

PEÑA, Carlos Rosano. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.

PONTES, Antonio Carlos Fonseca. Ensino da correlação de postos no ensino médio. **Simpósio Nacional De Probabilidade E Estatística (SINAPE)**, v. 19, p. 26-30, 2010.



Citação (APA): BARBOSA, A. L. de S., TOMAZ, D. A. S. & AZEVEDO, A. A. de (2019). Análise da eficiência dos serviços de saneamento prestados nos municípios da região metropolitana de belo horizonte com a utilização do método análise envoltória de dados. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(1):101-121.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. **Monografia de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. 36p, 2010.**

RICHARDSON, Roberto Jarry; PERES, José Augusto. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** Atlas, 1985.

SECCHIM, André Brandão; DE FREITAS, Rodrigo Randow; GONÇALVES, Wellington. MAPEAMENTO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) EM ESTUDOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 4, n. 1, p. 116-128, 2018.

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. **LEG, UFPR**, 2006.

THANASSOULIS, Emmanuel. The use of UK water utilities: water distribution. **European Journal of Operational Research**, v. 126, n. 2, p. 436-453, 2000.

