AGÊNCIA REGULADORA
ÁGUA E ESGOTO
ARSAE-MG

NOTA TÉCNICA

CRFEF 31/2016

Custos Operacionais e Análise de Eficiência - 1ª Etapa da Revisão Tarifária Periódica da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa MG 2016

(Versão final – após a Audiência Pública)

Coordenadoria Técnica de Regulação e Fiscalização Econômico-Financeira
Arsae-MG

13 de abril de 2016

AGÊNCIA REGULADORA
ÁGUA E ESGOTO
ARSAE-MG

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 3
2. CUSTOS OPERACIONAIS 3
3. CUSTOS OPERACIONAIS EFICIENTES 5
   3.1. MEDIÇÃO DE EFICIÊNCIA EM PRESTADORES DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO 5
   3.2. *BENCHMARKING* EMPÍRICO: FRONTEIRA ESTOCÁSTICA DE DISTÂNCIA 7
   3.3. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO 10
   3.4. SELEÇÃO DA AMOSTRA DE PRESTADORES E A LIMPEZA DOS DADOS 12
   3.5. FUNÇÃO DE DISTÂNCIA ORIENTADA A INSUMOS 14
   3.6. RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES 16
   3.7. CÁLCULO DA MEDIDA DE EFICIÊNCIA PARA A COPASA 17
   3.8. APLICAÇÃO TARIFÁRIA 17
BIBLIOGRAFIA 20
   A1. TEORIA MICROECONÔMICA DA PRODUÇÃO E DOS CUSTOS 22
   A2. ESTIMAÇÃO DA FUNÇÃO DE DISTÂNCIA ORIENTADA AO INSUMO – ANÁLISE DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA 23
   A3. ESTIMAÇÃO DA FRONTEIRA ESTOCÁSTICA – MÉTODO DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA 26
   A4. SOFTWARE PARA ESTIMAÇÃO - SOFTWARE ESTATÍSTICO R 27
ANEXO B – Z-SCORE MODIFICADO E LIMPEZA DE DADOS DA AMOSTRA 28

1. INTRODUÇÃO

A Arsae-MG, Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais, é a entidade responsável pela regulação e fiscalização dos serviços prestados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Copasa, desde 2009.

A Arsae desenvolve suas atividades regulatórias nos termos da Lei nº 18.309/2009 e da Lei Federal nº 11.445/2007. Dentre suas atribuições, a Arsae é responsável pelo cálculo dos reajustes e revisões das tarifas aplicadas pelo prestador.

Diferente do reajuste tarifário, que compreende a reposição das tarifas pela inflação observada em determinado período, o processo de revisão tarifária abrange a análise de inúmeros aspectos da prestação do serviço de saneamento de forma a estabelecer um novo patamar tarifário. Dentre os diferentes temas abordados, destaca-se a avaliação dos custos operacionais em regime de eficiência.

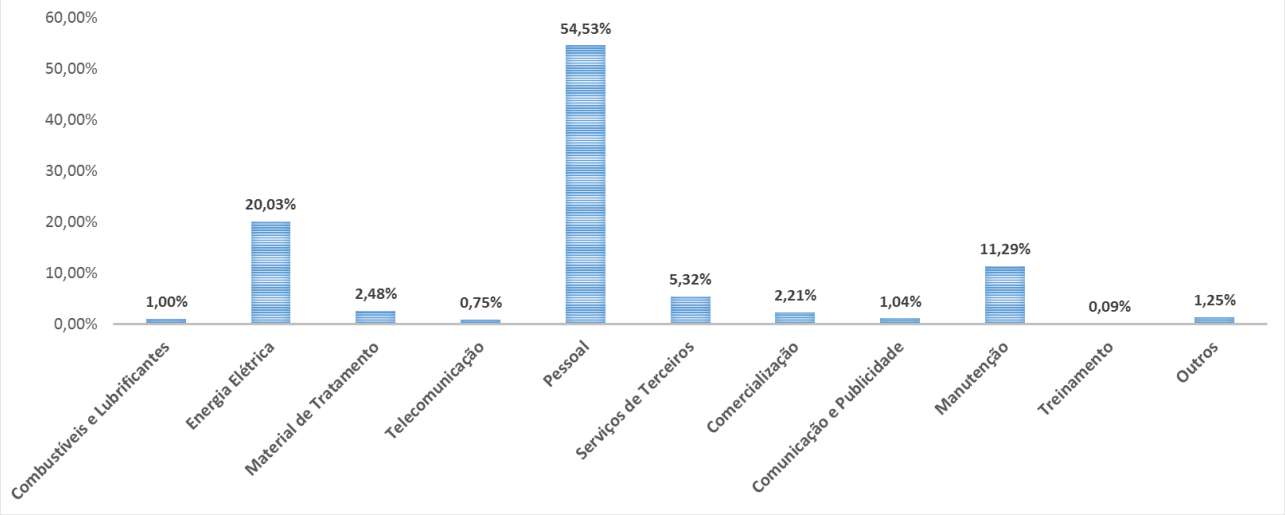
Esta Nota Técnica apresenta os trabalhos realizados no âmbito da 1ª etapa da Revisão Tarifária da Copasa de 2016 no que tange a determinação dos custos operacionais eficientes a serem reconhecidos pelas novas tarifas.

2. CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais compreendem os gastos com energia elétrica, material de tratamento, combustíveis, pessoal, serviços terceirizados, comercialização, dentre outros itens necessários à prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, como, por exemplo, materiais de escritório e de comunicação.

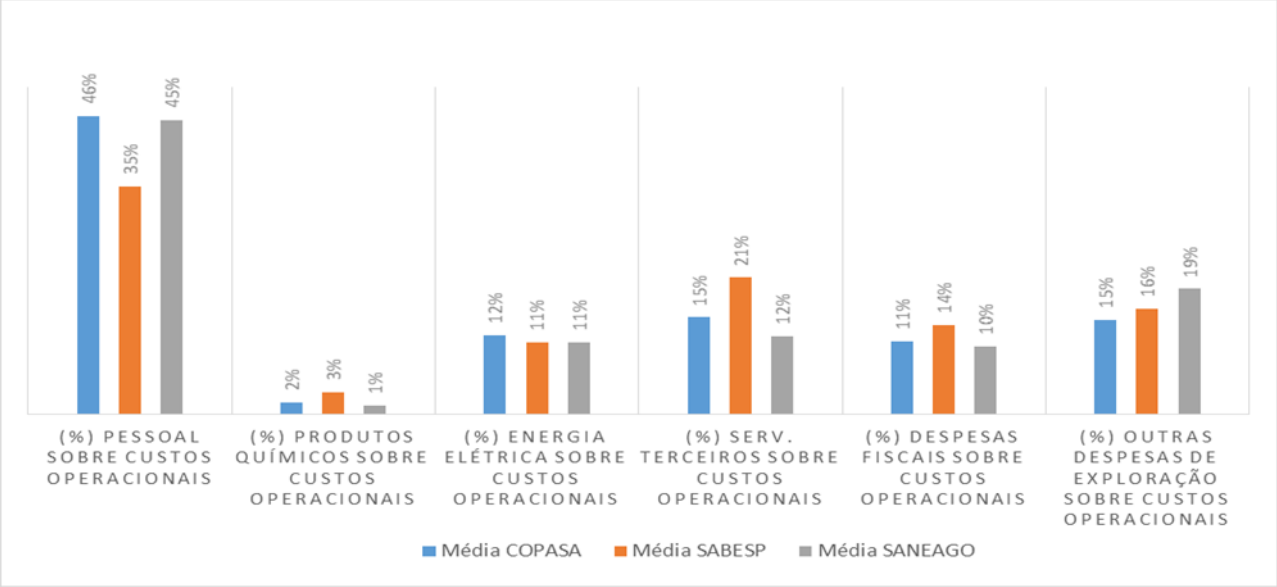
Na Copasa, os custos com pessoal são os mais significativos, representando 54,53% do total dos custos operacionais de maio de 2015 a abril de 2016. Outros itens de destaque são a energia elétrica (20,03%) e manutenção (11,29%). Este perfil é similar ao observado ao apresentado por outros prestadores regionais comparáveis à Copasa. Pelas informações do Snis de 2010 a 2013, a Copasa é o prestador regional, dentre os comparáveis, que mais gasta em pessoal próprio e energia elétrica, como percentual do custo de exploração total.

Figura 1 – Custos Operacionais da Copasa – maio de 2015 a abril de 2016



Fonte: Informações contábeis da Copasa.

Figura 2 – Principais itens dos Custos Operacionais – Copasa x Prestadores Comparáveis Snis – 2010 a 2013



Fonte: Snis – 2010 a 2013.

Para a Revisão Tarifária, a avaliação dos custos operacionais parte da observação do incorrido pela Copasa através dos registros contábeis do prestador. Contudo, para a construção das tarifas, a Arsae tem seus cálculos orientados pelo conceito de Custos Operacionais Eficientes, por meio do qual são avaliados os custos necessários à operação dos serviços em regime de eficiência, compartilhando os ganhos de produtividade esperados com os usuários.

De acordo com o art. 22 da Lei Federal 11.445/2007, entre os objetivos da regulação econômica se encontram:

> IV. Definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos como a modicidade tarifária, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços e que permitam a apropriação social dos ganhos de produtividade.

Para atender os objetivos previstos, a Agência Reguladora pode estabelecer fatores de produtividade, como destaca o art. 38 da mesma Lei:

> §2º Poderão ser estabelecidos mecanismos tarifários de indução à eficiência, inclusive fatores de produtividade, assim como de antecipação de metas de expansão e qualidade dos serviços.
>
> § 3º Os fatores de produtividade poderão ser definidos com base em indicadores de outras empresas do setor.

Portanto, a necessidade de medir os custos eficientes para o prestador de serviços e de criar regras para indução à eficiência de gastos é um desafio colocado para os órgãos reguladores.

A Arsae se insere nesse contexto ao adotar técnicas avançadas para medição dos custos operacionais eficientes a serem reconhecidos na Revisão Tarifária da Copasa e determinação de metas regulatórias de indução a eficiência de gastos na companhia. O método de avaliação da eficiência utilizado neste trabalho segue em grande parte a Nota Técnica CRFEF 14/2016 e 15/2016 da Arsae sobre a Revisão Tarifária da Cesama de Juiz de Fora.

O objetivo desta Nota Técnica é estabelecer o nível eficiente dos custos operacionais e os mecanismos de indução a essa eficiência para Copasa.

3. CUSTOS OPERACIONAIS EFICIENTES

3.1. MEDIÇÃO DE EFICIÊNCIA EM PRESTADORES DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A avaliação da eficiência aplicada à regulação se concentra em dois marcos: comparação e referência. Busca-se criar uma fronteira, de custos ou produção, com base nas melhores práticas do setor, dadas as informações disponíveis. A partir dessa fronteira, compara-se o prestador em relação às melhores práticas.

Para que o processo de criação dessa referência e a comparação dos prestadores seja bem implementada, são necessários objetividade e rigor do regulador no uso de informações, que devem ser de qualidade e não manipuláveis pelas partes envolvidas. Ademais, é necessário grande conhecimento técnico do setor, das variáveis ambientais que afetam a prestação do serviço, e das empresas que o compõem.

A medida de eficiência será obtida pela distância entre a prática observada e as melhores práticas do setor observadas ou construídas. Ferro, Lentini e Romero (2011) definem 3 decisões a serem tomadas pelo regulador para começar a tarefa de mensuração da eficiência.

A primeira decisão consiste na construção da fronteira de eficiência, em que o regulador tem basicamente duas alternativas: (i) uma referência teórica baseada em conhecimentos de engenharia, sendo

esta a abordagem de *benchmarking*[1] virtual; (ii) uma função, de custos ou produção, construída considerando os dados observados do setor. Este enfoque é chamado de *benchmarking* empírico.

Através do *benchmarking* virtual[2], cria-se uma empresa de referência ideal que fornece os mesmos serviços e atua na mesma área física da regulada. São definidos pelos reguladores parâmetros para a qualidade e eficiência.

Toda a cadeia de oferta deve ser detalhadamente modelada considerando todos os custos envolvidos na operação. O valor do dispêndio encontrado se torna referência para a construção da tarifa, criando uma concorrência virtual para a firma real e desta forma incentivando a eficiência econômica. Caso a empresa regulada se torne mais eficiente que a empresa de referência, aquela obterá lucros adicionais (COELLI, *et al*, 2003).

A mensuração pela empresa de referência tem como vantagens: (i) utiliza um menor conjunto de informações de desempenho dos regulados, o que diminui o problema de assimetria de informação; (ii) permite adequar a análise a condições geográficas, técnicas e econômicas específicas de cada prestador; (iii) permite avaliar eficiência absoluta. As principais desvantagens do método são: (i) alto custo regulatório, já que a reengenharia de empresa necessita de um corpo técnico numeroso e de profissionais extremamente qualificados; (ii) grande intensidade em dados; (iii) análise muito pormenorizada que leva a grandes discussões na implementação em processos tarifários; (iv) risco de micro gerência do regulador sobre o regulado.

No *benchmarking* empírico[3], cria-se uma fronteira de custos eficientes a partir de uma amostra de prestadores reais, que capturará as melhores práticas das empresas analisadas. É necessário definir as variáveis que direcionam os custos, buscando coletar e analisar informações para todos os prestadores constantes na amostra. Técnicas matemáticas e estatísticas conjuntamente com a Teoria Microeconômica da Firma são utilizadas para a definição da fronteira à qual todos os prestadores serão comparados.

A mensuração da eficiência por *benchmarking* empírico tem como vantagens: (i) ser menos intenso em dados, especialmente no uso de modelos não paramétricos; (ii) é facilmente replicável e permite a análise de mais de um prestador; (iii) trata melhor o problema de assimetria de informação. Como desvantagens do método pode-se citar: (i) dificuldades para considerar as condições geográficas, técnicas e econômicas do prestador; (ii) as informações devem ser confiáveis; (iii) avaliação de eficiência relativa e não absoluta.

A segunda decisão é estabelecer qual conceito de eficiência a se usar: técnica, alocativa ou total. A eficiência técnica pode ser definida pela obtenção de maior nível de produto, dado o conjunto de insumos disponível, ou, de forma contrária, pelo alcance do mesmo nível de produto com menor uso de insumos (FARRELL, 1957). Portanto, esta medida se desdobra apenas sobre a relação técnica, ou física, entre produtos ou serviços e insumos.

Por sua vez, a eficiência alocativa trata da mesma questão abordando novo enfoque. Essa nova medida contempla se a composição dos insumos utilizados é a melhor tendo em vista os preços relativos

[1] *Benchmarking* é o processo de avaliação da empresa em relação à concorrência ou demais firmas do setor, por meio do qual se busca os melhores desempenhos.
[2] Também conhecido como Modelo Bottom-Up.
[3] Também conhecido como Modelo Top-Down.

entre os mesmos (FERRO, LENTINI & ROMERO, 2011). Adiciona-se, dessa forma, novas informações econômicas ao conceito de eficiência.

Por fim, pode-se ainda apurar a eficiência total, que é combinação dos dois conceitos, ou seja, produzir da maneira tecnicamente eficiente e utilizando a combinação de insumos mais adequada aos preços relativos.

Caso o foco seja na eficiência técnica, estima-se uma função de produção ou de distância. Se o interesse é em eficiência total, ou econômica, estima-se uma função de custos. A eficiência alocativa será dada pela diferença entre os conceitos anteriores.

Já a terceira decisão é a escolha da técnica a utilizar para construção da fronteira de eficiência empírica, que podem ser divididas em paramétricas e não paramétricas. E, no primeiro caso, ainda entre determinísticas ou estocásticas. Os detalhes acerca de cada uma das alternativas citadas serão mais bem explicados em seção posterior.

Último aspecto essencial para a mensuração de custos operacionais eficientes reside sobre a análise de como a curva estimada se comporta ao longo dos anos. Ao contemplar a evolução dos custos eficientes, a medida de eficiência de um prestador passa a ser avaliado pela combinação de dois efeitos:

i. A distância do prestador em relação à curva estimada. Este efeito é denominado de fator de alcance da fronteira, ou “Catch-Up”;
ii. A forma como a curva estimada se comporta ao longo dos anos. Denomina-se este efeito como deslocamento da fronteira.

Portanto, mesmo que um prestador tenha reduzido seus custos, sua medida poderá indicar uma menor eficiência caso a curva de custos estimada tenha apresentado uma evolução maior que a da referida firma. Do contrário, mesmo mantendo seus custos inalterados, um prestador pode ser mais eficiente caso a curva de custos tenha apresentado um retrocesso.

Dentre todos os modelos apresentados, a Arsae decidiu por utilizar um *benchmarking* empírico. As principais motivações para a escolha foi o uso menos intensivo de dados e a menor complexidade associada ao método. Tais fatores contribuem para um melhor entendimento do método pelo público e pelo próprio prestador, visando o incentivo à minimização dos custos. O elevado custo de elaboração e o risco de micro gerência sobre o prestador também contribuíram para o descarte da construção da empresa de referência.

3.2. *BENCHMARKING* EMPÍRICO: FRONTEIRA ESTOCÁSTICA DE DISTÂNCIA

A estimação dos custos operacionais eficientes para a Copasa se dará através da estimação de uma função de distância. A função de distância é, do ponto de vista normativo, medida da performance de uma firma (BOGETOFT & OTTO, 2011). De maneira simples, a função de distância voltada para insumos mede a máxima redução de insumos capaz de produzir a mesma quantidade de produtos. Desta forma, consegue-se apenas aferir a eficiência técnica dos prestadores.

A função de distância foi adotada para a avaliação das eficiências pelas seguintes razões:

- Permite a utilização de mais de um produto, ao contrário da função de produção. No caso do setor de saneamento, há dois serviços: abastecimento de água e esgotamento sanitário;
- Não é necessário obter os preços dos insumos, requisito necessário para a estimação da função de custos. A identificação dos preços dos insumos não é tarefa fácil, pois estes devem ser exógenos. Por exemplo, a simples divisão do custo com salários pelo número de empregados, com o objetivo de obter-se o salário médio, pode tornar a equação de custos endógena, distorcendo as estimativas.

Por fim, escolheu-se como técnica de estimação da curva de distância o método de Fronteira Estocástica. A estimação por Fronteira Estocástica se dá através de uma função de Máxima Verossimilhança, considerando uma função de produção cuja estrutura é previamente definida.

Em relação a outros métodos de estimação, o método de Fronteira Estocástica possui vantagens e desvantagens.

A principal vantagem da Fronteira Estocástica em relação aos métodos paramétricos determinísticos, como o COLS[4], ou aos métodos não paramétricos, como o DEA[5], é a possibilidade de modelar estatisticamente a ineficiência relativa dos prestadores e permitir que a curva de distância se desloque a depender de choques exógenos alheios ao controle das firmas.

Seja no caso de fronteira de distância determinísticas ou não paramétrica, toda a diferença entre a posição do prestador e a fronteira estimada é considerada ineficiência. Assim, um choque exógeno que eleve os custos do prestador específico é considerado ineficiência, ainda que o aumento de gastos não esteja sobre o seu controle (GREENE, 2006). Pode-se ilustrar como choques exógenos greves, secas, cheias, sucesso ou azar em um plano de negócios, etc.

A principal vantagem, portanto, da estimação por Fronteira Estocástica é separar o erro aleatório da estimativa de ineficiência, permitindo extrair com mais exatidão este último.

Ainda em relação a métodos não paramétricos de estimação da fronteira[6], modelos paramétricos, como o de fronteira estocástica, são menos suscetíveis a *outliers*[7] e erros de medidas (BOGETOFT & OTTO, 2011). Além disso, modelos paramétricos também permitem a inferência estatística de suas estimativas. Métodos não paramétricos, em geral, não permitem que os seus cálculos sejam testados estatisticamente.

Como desvantagens, a estimação de fronteira estocástica pressupõe uma função de produção, que pode não ser factível para o setor em estudo. Métodos não paramétricos não estabelecem qualquer forma da função de produção para a realização do cálculo da eficiência. Além disto, como todo método paramétrico, a fronteira estocástica está sujeita a problemas econométricos, como endogeneidade e variáveis omitidas, que não afetam os métodos não paramétricos mais básicos. Por fim, a fronteira estocástica exige a pressuposição de uma distribuição estatística para o termo de ineficiência, algo não necessário aos métodos não paramétricos.

[4] Mínimos Quadrados Corrigidos (*Corrected Least Squares* – COLS).
[5] Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA).
[6] Exemplo de método não paramétrico é a Análise Envoltória de Dados.
[7] Observações atípicas.

Em que pese todas as vantagens e desvantagens do método de fronteira estocástica, a Arsae considera que esta é a alternativa mais interessante por permitir a separação dos erros aleatórios da estimativa de ineficiência do prestador.

Uma síntese entre os diferentes métodos de *benchmarking* empírico está presente na tabela 1.

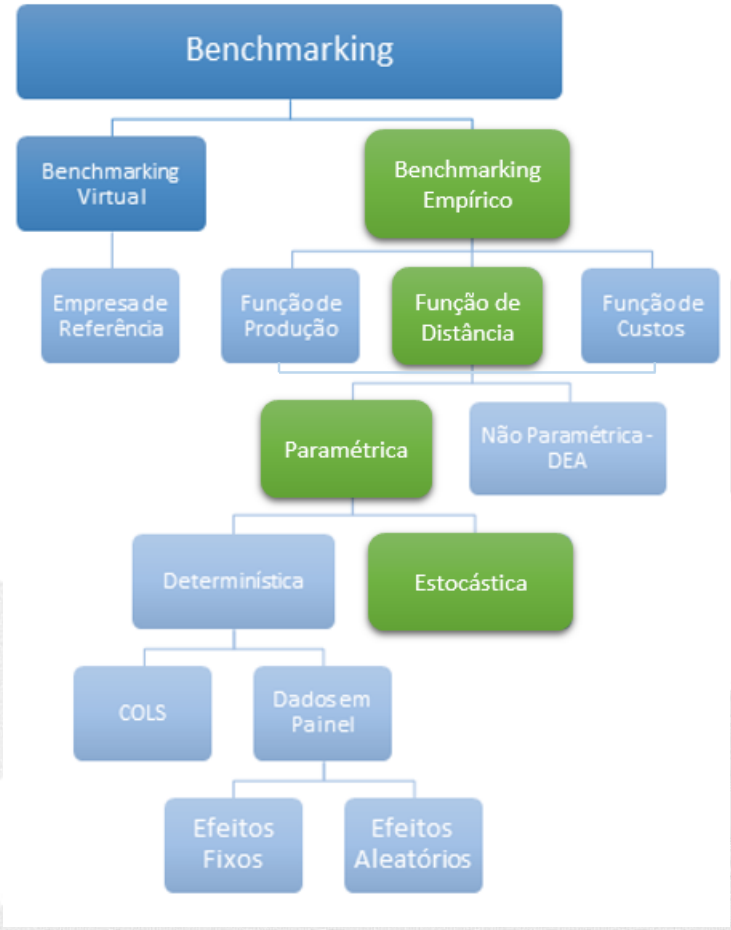
Tabela 1 – Comparativo entre métodos de benchmarking empírico

Modelos	Característica	Vantagens	Desvantagens
Fronteira Determinística (Painel, COLS)	• Método mais comum para obtenção de estimativa da eficiência relativa; • COLS – Prestador com resíduo mínimo vira referência para toda a amostra; • O uso de dados em painel permite contemplar características não observáveis e constantes no tempo que influenciam o custo.	• Fácil entendimento; • Método de aplicação simples; • Permite testes estatísticos.	• Todo o desvio da estimativa é considerado ineficiência do prestador; • Modelagem da função de distância é definida de forma arbitrária; • Problemas de variáveis omitidas e endogeneidade.
Fronteira Estocástica (SFA)	• Estimação por Máxima Verossimilhança; • Modelagem estatística dos componentes do termo de erro; • Necessidade de estabelecer estrutura prévia do modelo; • Cálculo da eficiência absoluta.	• Separar a ineficiência do erro aleatório; • Menor sensibilidade a erros de medidas e *outliers*; • Permite inferência estatística.	• Problemas de variáveis omitidas e endogeneidade; • Subjetividade na modelagem do termo de erro e na estrutura do modelo.
Métodos Não Paramétricos (DEA)	• Cálculo através de Programação Linear; • Depende da hipótese sobre os rendimentos de escala do setor; • Não há a necessidade de estabelecer estrutura prévia do modelo.	• Não há pressupostos sobre a distribuição estatística de nenhum termo; • Maior flexibilidade no cálculo do modelo; • Decomposição do fator de catch-up e de deslocamento da fronteira.	• Não se aplica inferência estatística; • Muito sensível a erros de medida e *outliers*; • Não se separa o erro de medida da ineficiência; • Não se considera o contexto de prestação.

Fonte: Adasa (2009), Bogetoft e Otto (2011)

A figura 3 apresenta uma síntese das alternativas disponíveis à Arsae para a análise proposta de custos operacionais eficientes. As marcações em verde destacam o caminho escolhido pela Arsae.

Figura 3 – Metodologias de *Benchmarking*



Fonte: Adasa (2009) e Ferro, Lentini e Romero (2011).

Destaca-se, finalmente, que, para o presente trabalho, empregou-se uma função de distância transcendental logarítmica (translog) muito utilizada em estudos empíricos de eficiência, especialmente em setores multiprodutos, como o caso do saneamento básico. A função translog é dada pela aproximação de Taylor de segunda ordem para uma função F(x) arbitrária. Sendo uma aproximação de Taylor, esta função permite a adaptação a qualquer formato para a função de distância (BONIFAZ e ITAKURA, 2014).

3.3. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO

Definido o modelo econométrico e formatação da função de distância, a escolha das variáveis consideradas na estimação foi a próxima etapa.

A variável dependente do modelo será a despesa de exploração menos os impostos envolvidos na operação. Os impostos foram retirados devido às diferenças de tributação nos diferentes prestadores regionais. Os custos de operação consideram as despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica,

serviços de terceiros, água importada, esgoto exportado, e demais despesas de exploração[8]. Não são incorporados no modelo os dispêndios com capital, juros e encargos do serviço da dívida e demais despesas não operacionais.

Um conjunto abrangente de variáveis foi alvo de uma seleção que contemplou a lógica econômica e a qualidade da informação disponível. As informações candidatas a entrar no modelo foram divididas em quatro grupos: núcleo; controle; contexto e qualidade. A maior parte dos dados foi retirado do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis)[9]. Exceção feita às informações sobre remuneração média de municípios, que foram extraídas da Relação Anual de Informações Sociais (Rais)[10] e as fontes de captação de água, cuja fonte é a Agência Nacional de Águas (ANA)[11].

Como é objetivo do trabalho estimar a eficiência técnica da Copasa, comparada às demais empresas do setor, devem-se identificar os insumos e produtos utilizados pelos prestadores. Os candidatos a produtos foram considerados como as variáveis núcleo do modelo.

Para este grupo de variáveis ou direcionadores de custo, a dimensão associada à escala da prestação do serviço foi considerada a mais importante. Para sua mensuração, as informações de ligações de água e de esgoto, de economias de água e de esgoto, o volume consumido de água e o volume coletado de esgoto foram avaliados. (SABBIONI, 2008; DA SILVA E SOUZA *et al*, 2007; ANTONIOLI & FILIPPINI; 2001; AUBERT & REYNAUD; 2005).

Também foram analisadas informações sobre o contexto da prestação do serviço e a qualidade do serviço prestado. As informações de contexto são relacionadas a elementos que influenciam os custos de prestação mas não estão sob gestão do prestador. Exemplos das variáveis de contexto são a renda média dos trabalhadores do município, a densidade da rede de distribuição de água, o consumo médio por economia e a forma de captação de água (superficial ou subterrânea).

Por sua vez, as informações de qualidade consideram fatores que afetam os custos operacionais e que estão sob controle do prestador. São consideradas como variáveis de qualidade o nível de perdas na distribuição de água, o nível de tratamento do esgoto coletado e, até mesmo, a universalização do abastecimento de água.

É importante que a eficiência a ser avaliada considere a qualidade do serviço prestado na medida em que uma maior qualidade do serviço está associada a maiores custos. Por outro lado, um prestador com baixos custos pode não ser necessariamente eficiente se ofertar serviços com qualidade inadequada.

---

[8] A fórmula com as variáveis do Snis consideradas para a despesa de exploração menos os impostos é **FN015-FN021**.
[9] http://www.snis.gov.br/
[10] As informações de remuneração média nos municípios foram obtidas na base de dados online da Rais, no site http://bi.mte.gov.br/bgcaged. Usou-se a remuneração média dos empregados com pelo menos segundo grau completo, em vez da remuneração de todos os empregados. Considerou os empregados com vínculo ativo em 31/12 dos anos utilizados e ainda a escolaridade agregada após 2005.
[11] O número de fontes de captação por município foi retirado do "Atlas Brasil: abastecimento urbano de água" produzido pela ANA e publicado em 2010. O Atlas pode ser consultado no site http://atlas.ana.gov.br.

Finalmente, constam as variáveis de controle. Tais informações são associadas a elementos que afetam diretamente os custos do prestador. São considerações relevantes sobre os custos operacionais a serem analisados, como, por exemplo, a evolução ano a ano dos custos eficientes estimados.

Após a avaliação da disponibilidade e da qualidade das variáveis no banco de dados e a pertinência das mesmas nas estimações da função de distância, algo a ser detalhado em seção posterior, definiu-se o conjunto de direcionadores de custos listados na tabela 2.

Em relação à Nota Técnica CRFEF 27/2016, há a inclusão de três variáveis: Tratamento de Esgoto, associada à qualidade do serviço prestado; Verticalização e Densidade de Rede de Distribuição de Água, relativas ao contexto de prestação de serviço. A inclusão se deu uma vez que os parâmetros associados às essas três variáveis apresentaram resultado condizente ao que se esperava, algo não observado na estimação apresentada em Audiência Pública.

Tabela 2 - Direcionadores de Custos considerados na Função de Distância[12]

Grupo de Variáveis	Subgrupo	Serviço	Variável	unid.	Fórmula (cod. Snis)
Núcleo	Escala do Serviço	Água	Ligações Ativas de Água	lig.	AG002
Núcleo	Escala do Serviço	Esgoto	Atendimento de Esgoto	%	ES002/AG002
Contexto	Contexto	Água/Esgoto	Salário Médio do Município	R$	
Contexto	Contexto	Água	Densidade da rede de distribuição de água	lig/km	AG002/AG005
Contexto	Contexto	Água	Verticalização	econ/lig	AG003/AG002
Contexto	Fontes de Captação	Água	Participação das fontes subterrâneas para captação	%	
Contexto	Contexto	Água	Volume consumido de água por economia de água	m³/econ/ano	AG008/AG003
Qualidade	Tratamento de Esgoto	Esgoto	Tratamento do Esgoto coletado em relação ao consumo de água	%	(ES005/(AG010-AG019))*((ES006+ES014+ES015)/(ES005+ES013))
Qualidade	Perdas	Água	Índice de Perdas na Distribuição	%	(AG006+AG018-AG024)-AG010/ (AG006+AG018-AG024)
Controle	Tendência	-	Tendência anual da função distância		

Fonte: Elaboração própria.

3.4. SELEÇÃO DA AMOSTRA DE PRESTADORES E A LIMPEZA DOS DADOS

No *benchmarking* empírico, calcula-se uma fronteira de distância que reflita as melhores práticas dos prestadores considerados. A definição de uma amostra que agrupe firmas comparáveis é de fundamental importância, ainda mais em um país tão heterogêneo quanto o Brasil. Buscando homogeneidade na amostra e um conjunto de firmas comparáveis, foram criados filtros na base de dados do Snis.

Foram considerados apenas prestadores regionais, excluindo da amostra os prestadores locais, mesmo os de maior porte, visto que estes prestadores atuam em espaço geográfico mais reduzido e não seriam comparáveis a Copasa, que opera em algo em torno de 580 municípios mineiros. Dos prestadores regionais, foi excluído a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb-DF), pois esta presta serviço apenas no município de Brasília.

[12] A descrição da fórmula com a indicação das variáveis através dos respectivos códigos listados pelo Snis só foi apresentada para as informações extraída do Snis.

Como recorte espacial, foram analisadas firmas que atuam no Centro-Sul, compreendendo os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Foram avaliados os anos entre 2010 e 2013, que são os últimos anos disponíveis no Snis no momento de elaboração deste trabalho.

Para a definição dos prestadores regionais que comporão a amostra final foram realizados três cortes, que visam excluir prestadores que não dispõem de informações confiáveis, de estrutura de prestação dos serviços similar aos da Copasa e uma escala de prestação mínima. O primeiro corte é similar a parametrização técnica utilizada na Nota Técnica CRFEF 02/2016 da Arsae, em que foram estabelecidos critérios para a seleção de municípios que apresentassem níveis mínimos em sua infraestrutura de prestação dos serviços de abastecimento de água[13]. Em específico, foram identificados os municípios onde a prestação do serviço é feita por companhia regional que apresentassem um índice de atendimento de água e de hidrometração abaixo de 85%. Ao considerar um nível mínimo de hidrometração, identificam-se os municípios operados por prestadores regionais que não possuem informação tão consistente a respeito do consumo de seus usuários. Foram retirados da amostra os prestadores regionais que tiveram o mínimo de 20% dos seus municípios excluídos por estes critérios estabelecidos.

O segundo corte é similar à parametrização estatística, também utilizada Nota Técnica CRFEF 02/2016. A parametrização estatística procura identificar observações consideradas *outliers* ou que apresentem erros de medida. Dentre as técnicas de detecção de *outliers* consideradas, foram testadas a Z-score e a Z-score modificado[14], e elegeu-se a segunda como a mais adequada, uma vez que esta atende satisfatoriamente aos pontos em que a abordagem do Z-Score se mostrava falha, principalmente no que tange a sensibilidade dos cálculos à presença de *outliers*. Para mais detalhes sobre a metodologia de Z-score modificado, observar o Anexo B desta Nota Técnica.

O indicador para o qual foi aplicado o método do Z-score modificado foi a despesa de exploração pelo número de ligações totais ativas (soma das ligações ativas de água e esgoto), uma vez que esse indicador relaciona a variável de interesse (custo operacional) e variáveis de escala da prestação do serviço. Destaca-se, ainda, que o método de Z-score modificado foi calculado ano a ano para o banco de dados deste estudo. O critério escolhido para exclusão das observações foi Z-score modificado, em valores absolutos, maior que 3,5. Logo, foram identificadas as observações consideradas *outliers* pelo Z-score modificado nos diferentes anos (2010, 2011, 2012 e 2013). De forma similar ao primeiro corte, foram excluídos prestadores regionais que tiveram 20% ou mais observações excluídas nesta segunda etapa[15].

Por fim, o último critério escolhido, a fim de garantir a comparabilidade com a Copasa, foi a escala mínima de serviço. Só foram incluídos na amostra final prestadores que atendessem no mínimo 20% das ligações ativas de água da Copasa.

[13] Os indicadores utilizados para a limpeza técnica da amostra foram os IN009 e IN023, do Snis, que se referem, respectivamente, ao Índice de Hidrometração e ao Índice de Atendimento Urbano de Água.
[14] Para mais detalhes acerca dos dois métodos de detecção de outliers, ver Songwon (2006).
[15] As observações excluídas no primeiro corte não participaram desta etapa.

Após a aplicação destes filtros, foram escolhidos 3 prestadores comparáveis à Copasa, são eles: Sabesp-SP, Sanepar-PR e Saneago-GO. A Copasa, na contribuição à audiência pública, realizada pela Arsae em 22/03/2016, argumentou que a Despesa de Exploração da Sanepar variou substancialmente entre os anos de 2010 a 2013. Entre 2011 e 2012, pelas informações do SNIS, os dispêndios operacionais da Companhia variaram em -15% nominalmente, o que parece infactível e não é confirmado pela demonstração dos resultados da Sanepar[16]. Ademais, o município de Curitiba, sede da companhia, apresentou grande variação de custos no ano de 2011, passando de 21,85% dos dispêndios da Sanepar em 2010 para 44,38% em 2011, mantendo o percentual em torno de 20 % nos anos seguintes. Desta forma, para que a Sanepar seja corretamente incorporada na modelagem, é necessário que se ajustem as despesas de exploração dos anos de 2011 e 2012 para todos os municípios da Companhia, devido ao critério de rateio. Optou-se, para preservar a robustez do modelo, pela exclusão da Sanepar, já que, se fosse efetuado o ajuste dos dados, mais de 10% das observações da amostra teriam valores imputados pela Arsae.

Por fim, a análise de *benchmark* contou com três prestadores: Copasa, Sabesp e Saneago. Cabe ressaltar que, ainda que se tenha escolhido prestadores regionais para a comparação com a Copasa, o *benchmark* é feito localmente, ou seja, a unidade de observação é o município. Desta forma, a Copasa deve ser eficiente operacionalmente nos municípios em que opera vis-à-vis aos municípios dos dois outros prestadores, seguindo o critério estabelecido pela Arsae, ou seja, estar acima ou no percentil 75º das eficiências. Assim, preserva-se o caráter local da prestação do serviço, devendo a Copasa incorporar as melhores práticas verificadas nos municípios mais eficientes.

Todos os municípios destes prestadores foram considerados, mesmo os excluídos pelos três critérios citados acima. Fez-se isto para evitar as distorções advindas de rateios e alocações de custos indiretos.

A base de dados utilizada neste trabalho se encontra disponível no site da Arsae no endereço <http://www.arsae.mg.gov.br/audiencia-publica/page/489-10-2016-revisao-tarifaria-periodica-da-copasa>.

3.5. FUNÇÃO DE DISTÂNCIA ORIENTADA A INSUMOS

Foram testadas diversas formas funcionais para a função de distância, além de diferentes combinações das variáveis. A seleção das informações na equação final ponderou duas condições: (i) sinal esperado das variáveis e (ii) significância estatística.

A equação final utilizada para a estimação da função de distância tem a seguinte forma e seus parâmetros serão estimados pelo método de Máxima Verossimilhança:

$$\begin{aligned} Ln\,(1/opex) = {} & \beta_0 + \beta_1\, Ln(lig.água) + \beta_2 Atend_e + 0{,}5\,\beta_3\, Ln(lig.água)^2 + 0{,}5\,\beta_4\, Atend_e^2 + \\ & \beta_5\, Ln(lig.água) * Atend_e + \beta_6\, Ln(sal.médio) + \beta_7\, esgoto.trat + \beta_8 perdas + \\ & \beta_9 subt.manancial + \beta_{10} vol.econ + \beta_{11} dens.rede.água + \beta_{12} vertic + \\ & \beta_{13}\, tend + \beta_{14}\, tend^2 + v_{i,t} - u_i \qquad (1) \end{aligned}$$

[16] As informações contábeis da Sanepar extraídas do sítio eletrônico do prestador: http://site.sanepar.com.br/investidores/dem-resultados.

Em que:

- $Ln(1/opex)$ é o logaritmo natural, ou neperiano, do inverso do custo de exploração deduzidos os impostos envolvidos na operação. O dispêndio de cada ano foi trazido a valores de 2013 utilizando o IPCA;
- $lig.água$ é o número de ligações ativas de água;
- $Atend_e$ é a razão do número de ligações ativas de esgoto e ligações ativas de água;
- $sal.médio$ é o salário médio do município segundo a Rais, considerando empregados com, no mínimo, ensino médio. O salário médio de cada ano foi trazido a valores de 2013 utilizando o IPCA[17];
- $esgoto.trat$ é a porcentagem do esgoto tratado sobre o consumo de água;
- $perdas$ é o percentual de perdas na distribuição;
- $subt.manancial$ é o percentual de fontes de captação subterrânea presentes no município de operação do prestador sobre o número total de fontes[18];
- $vol.econ$ é a razão entre o volume de água consumido e número de economias ativas de água;
- $dens.rede.água$ mede a densidade da rede de abastecimento de água, razão entre o número de ligações e a extensão de rede;
- $vertic$ mede a verticalização no município em que a firma opera, razão entre o número de economias e o número de ligações;
- $tend$ é a variável de tendência, que toma valor 0 quando o ano é 2010, valor 1 quando ano é 2011, 2, quando ano é 2012 e 3, quando ano é 2013;
- $tend^2$ é a tendência ao quadrado;
- $v_{i,t}$ representa erro aleatório com média 0 e desvio padrão constante;
- u_i é o termo de ineficiência com distribuição meia-normal com média igual a zero e variância constante.

A equação 1 apresenta a estrutura empregada pela Arsae para estimar os custos operacionais eficientes da amostra exposta em seção anterior. Nesta estrutura, foram consideradas informações sobre a escala da prestação dos serviços, o contexto e a qualidade da prestação. Ainda, a evolução geral ano a ano dos custos operacionais eficientes será analisada. Finalmente, por considerar que as diferenças do custo observado em relação à fronteira de eficiência estimada possuem um componente aleatório e específico para cada prestador, foram adicionados dois termos: um que mede a ineficiência da prestação e um outro que percebe esta aleatoriedade.

Assim, mesmo que cada prestador real da amostra tenha condições de operação diversas (escala, contexto e qualidade), as diferenças de custos de exploração podem ser controladas segundo as variáveis adotadas, permitindo a comparação.

Destaca-se, também, o formato apresentado da variável dependente da equação (1). A inclusão do inverso da despesa de exploração respeita a modelagem necessária à mensuração da função de distância. Nesta função, a despesa de exploração é considerada como um insumo utilizado para prestação dos serviços de saneamento. Os detalhes da derivação da função de distância estão presentes no Anexo A.

Por sua vez, a inclusão das variáveis em logaritmo natural ou neperiano transforma a relação entre o inverso da despesa de exploração e a ligação de água e o salário médio dos municípios em elasticidades.

[17] Dados retirados do site: http://bi.mte.gov.br/bgcaged/login.php
[18] Dados retirados do site: http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/ConsultaDados.aspx

Facilitando a interpretação e dando um sentido econômico aos coeficientes estimados. Cabe lembrar que, ao contrário da função Cobb Douglas, as elasticidades entre a Opex e as ligações de água apuradas pela função translog são únicas para cada observação, isto ocorre devido a forma quadrática da função translog[19].

O método de estimação por Máxima Verossimilhança estimará os coeficientes (β) de forma que a composição das variáveis independentes (lado direito da equação) se aproxime ao máximo dos valores da variável dependente (lado esquerdo da equação). A diferença não explicada pelas variáveis independentes, ponderadas pelos coeficientes calculados, representa o resíduo. No método de Fronteira Estocástica adotado, este resíduo é dividido em duas parcelas: erro aleatório e ineficiência. A mensuração da última para a Copasa é o dos objetivos deste trabalho.

3.6. RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES[20]

Os coeficientes obtidos para as variáveis que compõem o modelo são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes estimados da fronteira de distância[21]

Variável dependente	Inverso do Dex
Filtro	Copasa/Sabesp/Sanepar/Saneago
Modelos	Translog
Intercepto	-4,632***
Ligações Ativas Água (x1)	-1,07***
Atendimento Esgoto (x3)	-0,845***
0,5 * $x1^2$	0,009
x1 * x3	-0,023.
0,5 * $x3^2$	1,394***
Esgoto Tratado Coletado	-0,118***
Índice de Perdas	-0,26***
Part. Mananciais Subterrâneos	0,106***
Salários Médios	-0,025
Verticalização	-0,186*
Densidade de Rede de Água	0,002***
Volume consumido por economia	-0,003***
Tendência	-0,021***
Tendência ao quadrado	0,006**
Observações	4.628
Lambda	3,011
Eficiência Média	0,736

Níveis de Significância: 0 '***'; 0,001 '**'; 0,01 '*'; 0,05 '.'; 0,1 ','

Fonte: Elaboração própria.

[19] Pode-se obter as elasticidades, Opex por ligação de água, para cada uma das observações através da derivada primeira do logaritmo do logaritmo da Opex menos impostos em relação ao logaritmo de ligação de água ativas. O comando *elas* do pacote *frontier* fornece estas elasticidades por observação.

[20] Todos os resultados aqui apresentados foram obtidos com o uso do software livre R. Foi utilizado, em especial, o pacote *frontier.*

[21] O Lambda é um valor que indica a participação da ineficiência e do erro aleatório no erro composto estimado. Valores abaixo de 1 indicam maior participação do erro aleatório. Por sua vez, valores maiores que 1 indicam maior participação da ineficiência. Para mais detalhes, ver Bogetoft e Otto (2011).

Como a variável dependente do modelo é o inverso do custo de exploração, os sinais negativos indicam que um incremento na variável explicativa eleva os custos operacionais estimados das firmas consideradas. Assim, um aumento no número de ligações ativas de água e percentual de atendimento de esgoto, por exemplo, eleva o dispêndio eficiente do prestador[22]. Alternativamente, o sinal positivo dos parâmetros indica que uma maior participação de mananciais subterrâneos diminui o custo operacional eficiente calculado.

Por sua vez, os coeficientes obtidos para as variáveis de tempo, tendência e tendência ao quadrado podem ser vistos como taxa de mudança da fronteira de eficiência ao longo do tempo. Ou seja, mede quanto o custo eficiente varia à medida que um ano se passa.

3.7. CÁLCULO DA MEDIDA DE EFICIÊNCIA PARA A COPASA

Para a amostra selecionada, nos anos de 2010 a 2013, a Copasa prestava serviços de abastecimento de água ou abastecimento de água e esgotamento sanitário em 580 municípios. Portanto, tem-se um total de 580 eficiências para os municípios de prestação de serviços da Copasa. Com o objetivo de se criar uma referência para a companhia como um todo, as eficiências de cada um dos municípios foram agregadas de forma a encontrar um único índice para Copasa. Este índice foi obtido da seguinte forma:

$$\text{Índice de eficiência Copasa} = \frac{\sum_{i=1}^{580} \text{Custos Operacionais incorridos}_i \times \text{Índice de eficiência}_i}{\text{Custos Operacionais Médios incorridos pela Copasa}} \qquad (2)$$

O numerador da equação (2) representa os custos da Copasa caso esta operasse em regime de eficiência. Este valor é obtido diretamente da definição de função de distância, constante no Anexo A desta Nota Técnica. O denominador é composto pela média nos quatro anos de análise dos custos de exploração da Copasa, a valores de 2013[23]. A média dos custos de operação foi utilizada, pois, a eficiência das firmas é obtida com os resídios médios, em uma estimação em painel, como pode ser visto na equação (A.7).

A eficiência estimada para a Copasa agregada foi de **0,76**.

3.8. APLICAÇÃO TARIFÁRIA

Calculada a estimativa de eficiência da Copasa agregada, determina-se a necessidade de redução de custos operacionais da Companhia a partir da distância da sua eficiência com a referência construída pela Fronteira Estocástica.

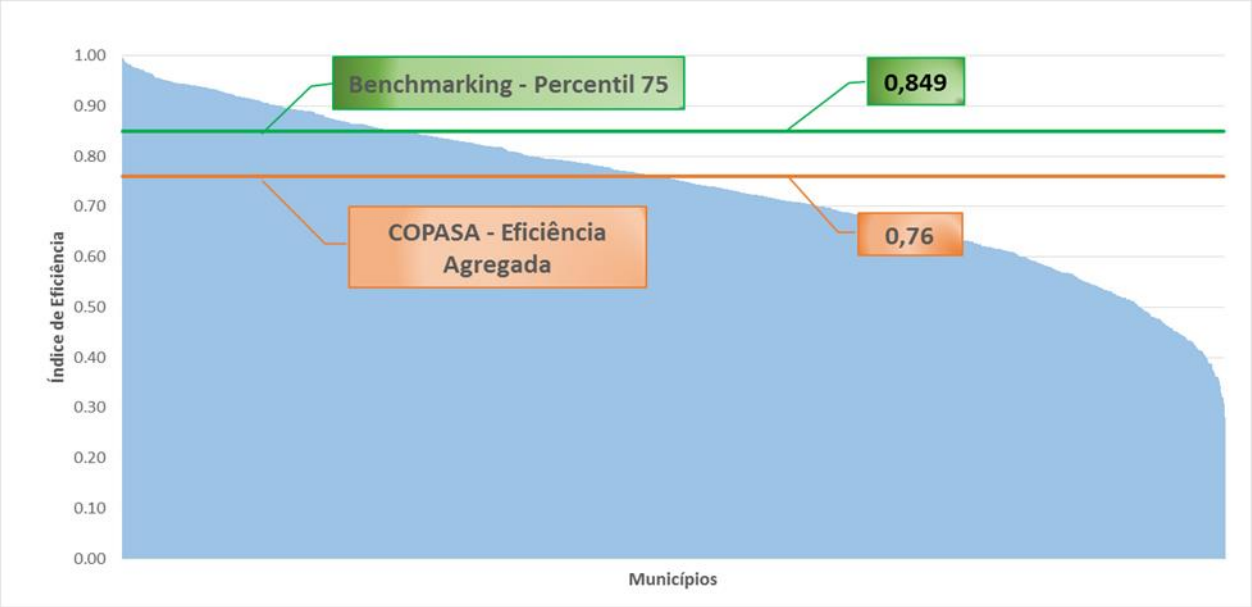
Reconhecendo as dificuldades em se atingir o nível máximo de eficiência, a Arsae não considerou a eficiência absoluta como meta. Para tal, definiu-se o nível de eficiência obtido pelo percentil 75% das eficiências obtidas através da equação (1). Isto significa que a meta a ser atingida pelo prestador, não será aquela da empresa mais eficiente da amostra, mas a eficiência mínima atingida pelos 25% dos municípios mais eficientes da amostra.

[22] Já que a variável dependente está em logaritmo, caso as variáveis independentes também estejam em logaritmo, os coeficientes podem ser interpretados como elasticidades.

[23] Todos os custos de exploração foram trazidos a valores de 2013, os impostos envolvidos na operação foram deduzidos.

A eficiência aferida neste percentil é 0,849, o que indica uma redução de 10,41 %[24] nos custos operacionais da Copasa para o alcance da meta estipulada. A figura 4 ilustra o ranking de eficiência para a amostra selecionada entres os anos de 2010 e 2013.

Figura 4 – Ranking de Eficiência Estimada – 2010 a 2013



Fonte: Elaboração própria.

Não será aplicada neste primeiro Ciclo de Revisão da Copasa a redução total de 10,41%. Uma redução deste montante, em torno de 200 milhões, é considerada elevada pela Arsae. Um fator de redução tão elevado nos custos operacionais não seria factível em um ano apenas, considerando que uma elevada redução nos custos em tão pouco tempo poderia ter efeitos indesejados na operação e qualidade da prestação de serviços.

Considerando estes aspectos, a Arsae optou por implementar para esta primeira etapa da Revisão Tarifária um Fator de Produtividade (FP) igual a 2,18%, que representa o total de redução distribuído em 5 anos. Caso houvesse um ciclo de revisão tarifária regular, o percentual de redução total seria divido em 4 anos, criando uma trajetória de diminuição dos custos operacionais. No caso desta Revisão, o fator de produtividade foi distribuído em 5 anos pois a Primeira Etapa da Revisão terá duração de um ano e a Segunda Etapa durará 4 anos. Na segunda etapa da Revisão uma nova análise poderá ser feita a luz dos dados mais recentes, que poderão incorporar algumas ações tomadas pela Copasa no biênio 2015 e 2016 para a redução dos seus custos operacionais[25].

Dentre os diversos gastos que compõem o total de custos operacionais da Copasa, a Arsae considerou aqueles custos que o prestador deve ter incentivos para ser eficiente, devendo gastar o menos

[24] Razão entre a eficiência da Copasa, nos anos de 2010 a 2013, e a referência (percentil 75º) = $(0{,}76/0{,}849) - 1 = 10{,}41\ \%$.

[25] Redução de Custos Operacionais explicitada na apresentação dos Resultados da Copasa no 3º trimestre de 2015. Para mais detalhes, acessar: http://www.copasa.com.br/ri/

possível, desde que mantidos os níveis de qualidade requeridos para a prestação dos serviços. Alguns custos, como manutenção e treinamento, que o prestador não deve ter incentivos a reduzir, pois têm efeitos em médio e longo prazo, reduzindo os dispêndios futuros. Desta forma, o Fator de Produtividade não incidirá nestes dois itens de custo.

A tabela 5 mostra a redução de custos operacionais esperada pela Arsae no próximo ano, tendo como referência o mercado do período de referência, de mai/16 a abr/17. Além disto é mostrado o impacto do Fator de Produtividade sobre a receita tarifária base que será de -0,89%.

Tabela 4 – Evolução esperada dos Custos Operacionais – 1ª etapa do ciclo de Revisão[26]

Item	(B) Valores projetados (R$) maio/16 a abr/17	Fator de Eficiência	(C) Valores projetados com Fator de Eficiência maio/16 a abr/17	% Receita Tarifária Base
Combustíveis e Lubrificantes	22.615.337	-2,18%	22.123.339	0,47%
Energia Elétrica	415.885.988	-2,18%	406.838.350	8,62%
Material de Tratamento	56.175.454	-2,18%	54.953.352	1,16%
Telecomunicação	15.827.593	-2,18%	15.483.262	0,33%
Pessoal	1.223.371.804	-2,18%	1.196.757.240	25,36%
Serviços de Terceiros	118.766.536	-2,18%	116.182.759	2,46%
Comercialização	49.364.307	-2,18%	48.290.382	1,02%
Comunicação e Publicidade	23.316.275	-2,18%	22.809.028	0,48%
Manutenção	243.540.605		243.540.605	5,16%
Treinamento	2.007.271		2.007.271	0,04%
Outros	28.334.202	-2,18%	27.717.789	0,59%
Custos Operacionais	**2.199.205.372**	**-**	**2.156.703.377**	**45,70%**
Receita Tarifária Base	**4.762.241.703**	**-0,89%**	**4.719.739.708**	**100,00%**

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados contábeis fornecidos pela Copasa.

[26] O valor da OPEX para o ano base, antes da revisão, foi retirado da contabilidade da Copasa e representa os custos operacionais, de acordo com a abertura regulatória da Arsae, para o período de referência, maio de 2015 a abril de 2016.

BIBLIOGRAFIA

ANTONIOLI, Barbara; FILIPPINI, Massimo. The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry. **Utilities Policy**, v. 10, n. 3, p. 181-187, 2001.

ARSAE. Nota Técnica CRFEF 01/2016. Belo Horizonte, 2016.

AUBERT, Cécile; REYNAUD, Arnaud. The impact of regulation on cost efficiency: an empirical analysis of Wisconsin water utilities. **Journal of Productivity Analysis**, v. 23, n. 3, p. 383-409, 2005

BOGETOFT, Peter; OTTO, Lars. **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. Springer Science & Business Media, 2010.

BONIFAZ, José Luis; ITAKURA, Reyk. **An Analysis of Inefficiency of Big Urban Water Utilities in Latin America**. 2014.

COELLI, Tim (Ed.). **A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators**. World Bank Publications, 2003.

COELLI, Tim; HENNINGSEN, Arne. **Frontier: Stochastic Frontier Analysis. R package version 1.0.** http://CRAN.R-Project.org/package=frontier, 2013.

DA SILVA E SOUZA, Geraldo; DE FARIA, Ricardo Coelho; MOREIRA, Tito Belchior S. Estimating the Relative Efficiency of Brazilian Publicly and Privately Owned Water Utilities: A Stochastic Cost Frontier Approach1. 2007.

FEDERAL, DISTRITO. ADASA. Nota Técnica Nº004/2009 SREF-SFSS/ADASA. **Brasília: ADASA**, 2009.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, p. 253-290, 1957.

FERRO, Gustavo; LENTINI, Emilio; ROMERO, Carlos Adrián. Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado. 2011.

GREENE, William H. The econometric approach to efficiency analysis. **The measurement of productive efficiency and productivity growth**, p. 92-250, 2008.

KUMBHAKAR, Subal C.; LOVELL, CA Knox. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge University Press, 2003.

SABBIONI, Guillermo. Efficiency in the Brazilian sanitation sector. **Utilities Policy**, v. 16, n. 1, p. 11-20, 2008.

SEO, Songwon. **A review and comparison of methods for detecting outliers in univariate data sets**. 2002. Tese de Doutorado. Faculty of Graduate School of Public Health in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science by Songwon Seo BS, Kyunghee University.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia-princípios básicos**. Elsevier Brasil, 2006.

Antônio César da Matta de Jesus

Analista de Regulação e Fiscalização Econômico-Financeira

Masp nº 1.371.302-9

Marina Moreira de Aguiar

Analista de Regulação Tarifária

Economista – Corecon-MG nº 8121

Raphael Castanheira Brandão

Assessor da Coordenadoria Técnica de Regulação e Fiscalização Econômico-Financeira

Economista – Corecon-MG nº 7830

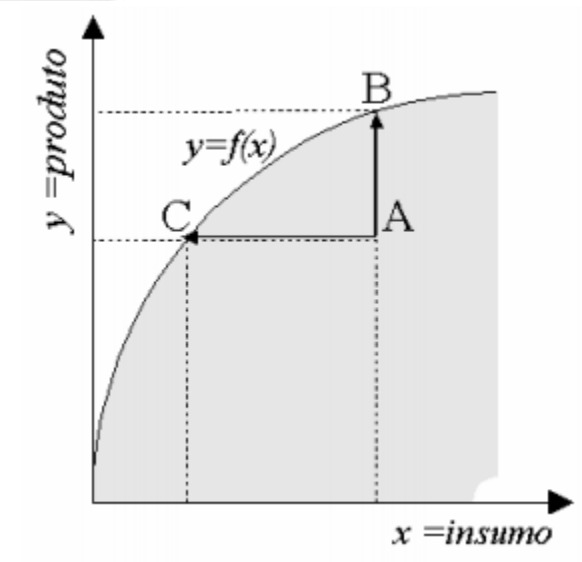
ANEXO A – ESTRUTURA TEÓRICA PARA ESTIMAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS EFICIENTES[27]

Para análise dos custos operacionais e os incentivos à eficiência aplicáveis à Copasa durante a vigência da primeira etapa do ciclo tarifário, foi empregada a metodologia estatística de Fronteira Estocástica. A principal vantagem dessa metodologia é separar os efeitos atípicos, como variações climáticas, sorte ou azar em um plano de negócios, ou até erro na medição das variáveis que compõe o modelo, das ineficiências relativas dos prestadores (GREENE, 2008). As ineficiências relativas medem a distância entre custo corrente do prestador e valor do dispêndio caso o prestador seguisse o comportamento de minimização de custos. O arcabouço econômico e estatístico do método de Fronteira Estocástica é descrito abaixo.

A1. TEORIA MICROECONÔMICA DA PRODUÇÃO E DOS CUSTOS

A teoria da produção diz que o produtor escolhe um conjunto de "n" insumos, representado por $x(x_1,...,x_N)$ para conseguir alcançar certo nível de produto, denotado por $y(y_1,...,y_N)$. A transformação dos insumos em produtos pode ocorrer de várias formas dada a tecnologia existente. Estas formas são conhecidas como conjunto de possibilidade de produção (CPP). A tecnologia corrente representa uma limitação para a produção e o CPP é limitado pela chamada função de produção ($y = f(x;\beta)$).

Figura A.1 – Fronteira de Produção



Fonte: Kumbhakar & Lovell (2003)

A fronteira de produção captura o mínimo de insumos necessário para a obtenção de um valor fixo de produtos, ou de forma alternativa, o máximo de produto que pode ser obtido dada uma quantidade fixa de insumos. A primeira forma de se entender a função de produção é conhecida como a de orientação a insumos e a segunda, de orientação a produtos. Os produtores localizados na fronteira de produção são considerados tecnicamente eficientes, e os demais são considerados ineficientes.

[27] Este anexo, como os demais que compõem esta nota técnica foram baseados na Nota Técnica CRFEF 02/2016. Ver em http://www.arsae.mg.gov.br/images/Arq_Apresentacoes/NTCRFEF%2002_2016_RevCesama_COperacionais.pdf

A fronteira de produção tem uma clara limitação por só considerar um produto ou serviço. Este é um sério problema uma vez que o setor de Saneamento Básico oferta dois serviços básicos, a saber: abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Como solução, existem duas opções: função de distância e função de custos. A função de custo é de difícil aplicação, pois requer o preço exógeno dos insumos e exige um comportamento minimizador de custos dos prestadores. Ou seja, as firmas devem ter capacidade de alocar insumos de maneira a melhor representar os preços relativos. Os prestadores públicos podem ter certa rigidez na definição ótima dos insumos, em especial em relação ao trabalho. Além disto não se dispõe de bases de dados para consulta de alguns preços de insumos.

Portanto, a eficiência foi estimada através de uma função de distância orientada aos insumos.

A2. ESTIMAÇÃO DA FUNÇÃO DE DISTÂNCIA ORIENTADA AO INSUMO – ANÁLISE DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA

Para se estimar a função de distância orientada a insumos, é primeiro necessário entender o conceito de distância de Farrell. Matematicamente, podemos representar a eficiência de Farrel como sendo igual:

$$E(x,y) = \min\{\, E > 0 \mid (Ex, y) \in T\} \qquad \text{(A.1)}$$

Em que:

- E é a medida de eficiência;
- x, y são os vetores que representam os conjuntos de insumos e produtos, respectivamente;
- T é a tecnologia envolvido no processo de produção.

A equação (A.1) mostra quanto podemos reduzir de todos os insumos (x) e ainda assim produzir a mesma quantidade de produtos (y). Dito de maneira formal, a equação (A.1) procura obter a maior redução equiproporcional dos insumos que ainda permita produzir a mesma quantidade de produtos, considerando as restrições tecnológicas (T)[28]. Se, por exemplo, E é igual a 0,8, é possível reduzir todos os insumos em 20% e ainda assim continuar produzindo os mesmos produtos.

A fim de se parametrizar E(x,y), isto é, criar uma função específica com o parâmetro de eficiência, é mais fácil se utilizar do inverso da medida de Farrell. O inverso da eficiência de Farrell, também conhecida como distância de Shephard, tem a seguinte forma:

$$D_i(x,y) = \max\{D > 0 \mid \left(\frac{x}{D}, y\right) \in T\} = \frac{1}{E(x,y)} \qquad \text{(A.2)}$$

A função de distância pode ser vista do ponto de vista normativo como uma medida de eficiência ou performance de uma firma. As funções de distância também podem ser entendidas como uma de várias formas equivalentes de se descrever a tecnologia para um conjunto de firmas (BOGETOFT & OTTO, 2011). A equação mostra que um prestador será totalmente eficiente se, e apenas se, D_i (x, y) for igual a 1. Caso contrário, a firma terá algum tipo de ineficiência e D_i (x, y) será maior que 1.

[28] A tecnologia em microeconomia é representada por um conjunto de pontos (x,y), em que x (insumos) produz y (produtos). Para maiores detalhes ver Bogetoft e Otto (2011), Varian (2006), Kumbhakar e Lovell (2003) e Coelli (2005).

No caso de D_i (x, y) ser maior que 1, a firma pode ser representada como um ponto interno A na figura A.1. Para que a firma seja eficiente, esta deve reduzir os insumos até o ponto C. Neste ponto o valor de D_i (x, y) será igual a 1 e o prestador se encontrará na fronteira de eficiência.

Para se derivar a função de distância, é importante observar que D_i (x, y) é homogêneo de grau 1 em insumos, ou seja, caso se dobre os insumos, a distância também dobrará. Isto pode ser facilmente provado por uma multiplicação dos insumos na equação (A.2) por uma constante t e a função distância será também multiplicada por t, como pode ser visto abaixo:

$$\begin{aligned} D_i &= \max\left\{D \middle| \left(t\frac{x}{D}, y\right) \epsilon\, T\right\} \\ &= \max_{\lambda}\left\{t\lambda \middle| \left(\frac{x}{\lambda}, y\right) \epsilon\, T\right\} \quad \left(\frac{D}{t} = \lambda\right) \\ &= t \max_{\lambda}\left\{\lambda \middle| \left(\frac{x}{\lambda}, y\right) \epsilon\, T\right\} \\ &= t\, D_i(x, y) \end{aligned} \tag{A.3}$$

Considere agora uma variável u ≥ 0 e a equação $D_i(x, y) = e^u$. Assim, $D_i(x, y) = 1$ quando u = 0 e $D_i(x, y) > 1$ quando u > 0. A variável u pode, então, ser interpretada como uma medida de eficiência, que toma valor 0 quando a firma é eficiente e valores maiores que 0 quando há algum tipo de ineficiência, no sentido da medida de Farrell. Tirando o logaritmo em ambos os lados, podemos reescrever $D_i(x, y)$ como:

$$\log\big(D_i(x, y)\big) = u$$

Assim podemos obter, considerando a equação (A.2):

$$\log E = \log\frac{1}{D_i} = -\log D_i = -u$$

$$E = e^{-u}$$

Considerando que a função de distância é homogênea de grau 1 nos insumos (x), tem-se:

$$x_m D_i\left(\frac{x}{x_m}, y\right) = D_i(x, y)$$

Tirando o logaritmo em ambos os lados e rearranjando os termos, obtém-se:

$$\log(x_m) + \log D_i\left(\frac{x}{x_m}, y\right) = \log D_i(x, y)$$

$$-\log(x_m) = \log D_i\left(\frac{x}{x_m}, y\right) - \log D_i(x, y)$$

$$-\log(x_m) = \log D_i\left(\frac{x}{x_m}, y\right) - u$$

Por fim, torna-se a função de distância em modelo estocástico ao se incluir o erro aleatório (v),

$$-\log(x_m) = \log D_i\left(\frac{x}{xm}, y\right) + v - u \tag{A.4}$$

A equação (A.4) descreve uma fronteira estocástica de distância orientada a insumos, em que:

- $-\log(x_m)$: logaritmo negativo de um dos insumos é a variável dependente;

- $\log D_i\left(\frac{x}{xm}, y\right)$: a distância de Shepard é a variável independente;
- u: representa a ineficiência relativa das firmas que compõem a amostra; e
- v: o termo de erro aleatório.

Como nos modelos econométricos clássicos, v é termo de ruído branco[29] e segue uma distribuição normal, com média 0 e variância constante. Já o termo u toma apenas valores não negativos e pode ser modelado a partir de uma distribuição estatística, sendo que quatro distribuições de probabilidade são as mais utilizadas, quais sejam: meia normal, normal truncada, exponencial e gama.

Para a estimação da equação (A.4), o método de mínimos quadrados ordinários não obterá resultados consistentes, uma vez que o termo de "erro composto", dado por $\varepsilon_i = v_i + u_i$, não é simétrico[30] (COELLI, 2005). Sendo assim, estima-se a curva de custos eficientes segundo o método da máxima verossimilhança, método que permite a incorporação da assimetria do termo de erro composto.

Falta ainda definir a forma da distância de Shepard $D(y_i, x_i;\ \beta)$. A fronteira de distância considerada neste trabalho parte de uma função de produção do tipo translog, que é extensamente utilizada por pesquisadores nos estudos sobre eficiência de custos por ser uma aproximação de uma função F(x) genérica, não necessitando de assumir uma forma específica. A função de distância translog pode ser entendida como uma aproximação quadrática de uma expansão de Taylor de segunda ordem. Considere uma função F(x) genérica, aplicando o logaritmo natural nesta função, e utilizando uma expansão de segunda ordem de Taylor, temos:

$$\log\big(F(x)\big) = a_0 + \sum_{i=1}^{m} a_i log z_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} log z_i log\ z_{\ j} \qquad \text{(A.5)}$$

Esta função, quadrática em logaritmos é chamada de translog.

A fim de facilitar a explanação da equação de distância, considere 2 insumos genéricos (x_1, x_2) utilizados na produção de um bem ou serviço. Tem-se, portanto, a equação de uma fronteira estocástica de distância orientada para insumo com uma especificação Translog:

$$-\ln x_{1i} = \beta_0 + \beta_1 log\frac{x_2}{x_1} + \beta_2 lny + \frac{1}{2}\beta_3 lny^2 + \frac{1}{2}\beta_4\left(log\frac{x_2}{x_1}\right)^2 + \beta_5 lny\,.\,log\frac{x_2}{x_1} + v_i - u_i \qquad \text{(A.6)}$$

A equação A.6 será a referência para estimação dos custos operacionais eficientes. Esta equação é a parametrização estatística da função (A.4) e representa uma função distância orientada a insumos. O termo u_i representa a distância do prestador i da fronteira de eficiência, considerando uma redução de insumos. Na figura A.1 esta distância é representada pelo segmento de reta AC.

[29] Ruído branco é um termo de erro aleatório que segue uma distribuição normal com média 0 e variância constante igual a 1.

[30] A não ser na hipótese de que $E(e_i) = -E(v_i)$. Ou seja, quando se considera o termo de ineficiência técnica é simétrico e possui $E(u_i)=0$.

A3. ESTIMAÇÃO DA FRONTEIRA ESTOCÁSTICA – MÉTODO DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

A base da modelagem de custos operacionais eficientes é a equação A.6 e há, portanto, a necessidade de se obter os coeficientes para os parâmetros β e u, esta última medida da ineficiência do prestador. Para a obtenção destes dois parâmetros, utiliza-se o método de máxima verossimilhança.

O método de máxima verossimilhança consiste em maximizar a probabilidade dos parâmetros de um modelo estatístico gerarem as observações da variável de interesse. No caso da fronteira estocástica, a variável de interesse é o erro composto ε, que é igual a soma da ineficiência (u_i) e do termo aleatório (v_i). Conquanto queiramos obter o termo de ineficiência (u_i), este não pode ser diretamente observado. Os parâmetros estimados serão os que maximizam a função de verossimilhança e, portanto, os que têm maior probabilidade de gerar os erros compostos observados. Em grandes amostras, é possível mostrar que as estimativas dos parâmetros são não viesadas e consistentes. A derivação da função de máxima verossimilhança é dada pela função de probabilidade conjunta (pdf) de todas as observações constantes na amostra. A função de distribuição do erro composto é o produto das funções de distribuição do erro aleatório e o termo de eficiência. Isto porque para que as estimativas de fronteira estocástica sejam eficientes é necessário que os fatores associados a ineficiência sejam independentes dos fatores que influenciam o erro aleatório.

Utilizando a função de máxima verossimilhança é possível obter os parâmetros β_j para a equação (A.6) e observar os erros compostos estimados. Contudo, como objetivo final é avaliar o nível de eficiência do prestador, é necessário separar a eficiência do termo de erro aleatório. Para tanto, a eficiência (EF_i) é auferida através da esperança condicional da eficiência relativa da firma dado a ocorrência do erro composto. O pacote *frontier* do R calcula a eficiência técnica baseada em Battese e Coelli (1988), que tem a seguinte forma:

$$EF_i = E(exp\{-u_i\}\,|\varepsilon_i) = \left[\frac{1-\Phi(\sigma_*-\mu_*/\sigma_*)}{1-\Phi(-\mu_*/\sigma_*)}\right].exp\{-\mu_* + \frac{1}{2}\sigma_*\} \qquad \text{(A.7)}$$

Em que:

$$\mu_* = -\frac{\varepsilon\sigma_u^2}{\sigma^2}$$

$$\sigma_*^2 = \sigma_u\frac{\sigma_v}{\sigma}$$

Em que:

σ_u^2 é a variância do termo de eficiência;

${\sigma^2}_v$ é a variância do termo aleatório;

σ^2 é a variância do termo de erro composto;

Φ é a função de distribuição acumulada de uma normal padrão com média zero e variância 1.

A equação (A.7) é utilizada, portanto, para o cálculo dos índices de eficiência presentes na Nota Técnica.

A4. SOFTWARE PARA ESTIMAÇÃO - SOFTWARE ESTATÍSTICO R

Para a estimação de todos os modelos apresentados nesta Nota Técnica, foi utilizado o Software estatístico R. A linguagem R é largamente empregada por pesquisadores em estatística e econometria. O R tem como principais vantagens ser gratuito e colaborativo. Além disto, permite maior dinamismo e controle do pesquisador sobre os resultados. O R pode ser adquirido gratuitamente no site: http://www.r-project.org/ para os sistemas operacionais Windows, OS X e Linux, nas versões 32 bits e 64 bits.

O software R comporta diversos usos, pois é altamente expansível com o uso dos pacotes, que são bibliotecas para funções específicas ou áreas de estudo específicas. Um conjunto de pacotes é incluído com a instalação do R, com muitos outros disponíveis na rede de distribuição do R (CRAN).

Foram utilizados dois pacotes para as estimações de eficiência: *frontier* e *Benchmarking*. O primeiro foi criado por Coelli e Henningsen (2013), e contém ferramentas para realizar estimações de fronteiras de custo e produção. Utiliza o método de Fronteira Estocástica e permite a estimação por máxima verossimilhança.

ANEXO B – Z-SCORE MODIFICADO E LIMPEZA DE DADOS DA AMOSTRA

O Z score de uma variável é uma medida de padronização obtida através da média e variância da variável de interesse. O objetivo é transformar a distribuição de uma variável X em uma distribuição Z~N(0,1). Após essa padronização, se é possível estabelecer regras de fácil aplicação para identificação de observações díspares na amostra observada, denominados *outliers*. Os *outliers* são detectados nas extremidades da cauda da função de distribuição de probabilidade.

A grande vantagem de utilização é a sua simplicidade, mas acaba superada pelas desvantagens: não se mostra um método adequado para identificação de bases de dados pequenas, além de ter o seu desvio padrão artificialmente inflado, uma vez que é utilizada a média na padronização das informações e esta pode estar afetada por observações de valores muito díspares.

Por sua vez, o método de Z score-modificado utiliza a mediana ao invés da média e substitui o desvio padrão tradicional pela mediana do desvio absoluto da mediana (MAD). Estas alterações tornam a padronização da variável mais robusta à presença de *outliers*, uma vez que a mediana é uma medida de tendência central menos suscetível a valores díspares que a média.

Para a utilização do Z-score modificado, o primeiro passo é calcular o valor absoluto da diferença de cada observação de uma variável em relação à mediana dessa variável. Esse processo respeita a seguinte fórmula:

$|x_i - \tilde{x}| \; \forall \; i, \text{em que } \tilde{x} \text{ é a mediana da variável;}$

Em seguida, extrai-se a mediana dos desvios absolutos calculados no primeiro passo:

MAD = mediana$\{|x_i - \tilde{x}|\}$, no qual MAD é a mediana do desvio absoluto da mediana.

A partir disso, é possível construir uma variável padronizada M_i que computa as observações padronizadas por meio do Z-score modificado.

$M_i = 0{,}6745(x_i - \tilde{x})/MAD$

M_i é eficaz para grandes amostras com distribuição normal, além de ser um critério simples para identificação de outliers. A regra de identificação segue a seguinte fórmula:

$|M_i| > 3{,}5 \;\rightarrow observação\ i\ outlier$