

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL

Adailton José Lourenço Emerick da Cunha

EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DEA

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Abril de 2017

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA
COMPUTACIONAL

Adailton José Lourenço Emerick da Cunha

EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DEA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Cândido Mendes - Campos/RJ, para obtenção do Grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Orientador: Henrique Rego Monteiro da Hora, D.Sc.

Coorientador: Rodrigo Martins Fernandes, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Abril de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

C972e Cunha, Adailton José Lourenço Emerick da.

Evolução da eficiência dos serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil: Uma abordagem DEA./ Adailton José Lourenço Emerick da Cunha. – 2017.

84f. il.

Orientador: Henrique Rego Monteiro da Hora
Coorientador: Rodrigo Martins Fernandes

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional da Universidade Candido Mendes - Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

Bibliografia: 69-74 f

1: Análise por Envoltória de Dados (DEA). 2. Energia elétrica - distribuição. 3. Indicadores - continuidade (serviços). I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU: 621.311:658.8

ADAILTON JOSÉ LOURENÇO EMERICK DA CUNHA

EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DEA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Cândido Mendes - Campos/RJ, para obtenção do Grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Avaliada em 17 de abril de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Henrique Rego Monteiro da Hora, D.Sc - Orientador
Universidade Federal Fluminense

Prof. Rodrigo Martins Fernandes, D.Sc. - Coorientador
Universidade Federal Fluminense

Prof. Milton Erthal Júnior, D.Sc.
Universidade Candido Mendes

Prof., Rogério Atem de Carvalho, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.
2017

Dedico este trabalho a meus pais: Judson Emerick Lourenço (in memoriam) e Alda Emerick Ferreira Cunha, que mesmo com simplicidade e poucos recursos, me ensinaram a ler e a escrever antes mesmo de frequentar a escola e assim, me fizeram enxergar que a busca pelo saber era um excelente caminho a se seguir.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, pelo dom da vida e pela ordem dada para que os humanos dominassem sobre todas as coisas.

À minha esposa Elaine Emerick, pelo amor incondicional, incentivo, motivação, e injeções de ânimo em todos os momentos.

Aos meus filhos Josué e Daniel, que sempre me lembram que a Salvação e a Justiça estão no amor.

A meu amigo Eng^o Frederico Moro, pela amizade, companheirismo e colaboração com este trabalho.

Ao meu orientador Prof. Henrique da Hora, pela paciência, incentivo, conselhos e orientação.

Ao coorientador Prof. Rodrigo Martins Fernandes, por contribuir, sem reservas, com sua experiência na área.

Aos professores do curso de mestrado pelo compartilhamento de conhecimento e experiências.

Aos demais familiares, amigos e colega de curso pelo carinho e pela ajuda.

O que as suas mãos tiverem que fazer, que o façam com toda a sua força, pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento, não há conhecimento nem sabedoria.

Salomão

RESUMO

EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM DEA

Os serviços de distribuição da energia elétrica no Brasil são, sem dúvida, de fundamental importância para a manutenção e desenvolvimento socioeconômico do país. Dentro desta visão, este trabalho tem o objetivo principal avaliar a eficiência dos serviços de distribuição das concessionárias brasileiras no período de 2006 a 2015, observando a evolução da eficiência de cada uma delas neste período. Para cumprir com este objetivo, propõe-se uma abordagem da Análise por Envoltória de Dados (DEA), levando-se em consideração o custo operacional (OPEX), o número de consumidores atendidos e o Índice ANEEL de satisfação do consumidor, além dos indicadores de continuidade dos serviços Σ DIC e Σ FIC de cada concessionária. Como demonstrado ao longo do trabalho, os indicadores DEC e FEC, mesmo sendo utilizados com frequência na literatura existente, podem introduzir erros no processo de cálculo da análise DEA, por serem valores relativos. Como resultado, obteve-se uma visão da eficiência anual de cada concessionária, podendo ser visualizada a sua evolução e tendências para os próximos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise por Envoltória de Dados (DEA). Distribuição de energia elétrica. Indicadores de continuidade de serviços.

ABSTRACT

EFFICIENCY EVOLUTION OF ELECTRICAL ENERGY DISTRIBUTION SERVICES IN BRAZIL: A DEA APPROACH

The electrical distribution services in Brazil, with no doubt, are very important for socioeconomic maintenance and development in the country. Inside this vision, this work evaluates the distribution service efficiencies for the Brazilian electrical distributors in the period from 2006 to 2015, to view the efficiency evolution of each distributor in this time period. To achieve this target, an approach of Data Development Analysis is proposed, considering the operational costs (OPEX), number of consumers and the ANEEL index of customer satisfaction (IASC) for each distributor, and also the continuity service indicators Σ DIC and Σ FIC. As demonstrated along the work, the indicators DEC and FEC, even being frequently used in the existent literature, may introduce errors in the calculation process of DEA analysis, as they are relative values. As a result, an annual efficiency vision of each distributor was gotten, and the efficiency evolution and tendencies could be viewed also as a result of this work.

KEYWORDS: Data Development Analysis (DEA). Electrical energy distribution. Continuity of services indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Exemplo de aplicação do algoritmo k-means em um conjunto de dados unidi-mensional, formando quatro grupos ($k = 4$).	30
Figura 2.	Estrutura e relacionamento dos módulos do PRODIST.	31
Figura 3.	Estrutura simplificada do sistema elétrico brasileiro.	35
Figura 4.	Nuvem de palavras gerada a partir dos resumos dos artigos selecionados.	41
Figura 5.	Fluxo de procedimentos técnicos e recursos necessários à execução do trabalho.	51
Figura 6.	Empresas que atuam na distribuição de energia elétrica no Brasil no ano de 2015, selecionadas para este trabalho.	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Domicílios com iluminação elétrica e demanda de energia entre 2006 e 2015.	19
Gráfico 2.	Exemplo das fronteiras de eficiência nos modelos CRS e VRS.	28
Gráfico 3.	Quantidade de artigos escritos por país entre 2006 e 2015.	39
Gráfico 4.	Quantidade de artigos escritos e total de citações por ano entre 2006 e 2015.	40
Gráfico 5.	Simulação da variação da eficiência da concessionária CEMIG com os atributos DEC e FEC e Σ DIC e Σ FIC para o ano de 2006.	56
Gráfico 6.	Concessionárias que registraram tendência à elevação nos índices de eficiência.	60
Gráfico 7.	Concessionárias que registraram queda nos índices de eficiência.	61
Gráfico 8	Concessionárias com estabilidade na evolução dos índices de eficiência.	62
Gráfico 9.	Comparação entre OPEX e Eficiência da concessionária CEMAR no período observado.	63

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.	Cálculo da Medida de Eficiência de DMU (1).	25
Equação 2.	Cálculo da Medida de Eficiência de DMU (2).	25
Equação 3.	Cálculo da Medida de Eficiência de DMU (3).	25
Equação 4.	Cálculo da Medida de Eficiência de DMU (4).	25
Equação 5.	Cálculo da Medida de Eficiência de DMU (5).	25
Equação 6.	Formulação do Problema de Programação Linear para a Solução do Modelo URS ou BCC (1).	27
Equação 7.	Formulação do Problema de Programação Linear para a Solução do Modelo URS ou BCC (2).	27
Equação 8.	Formulação do Problema de Programação Linear para a Solução do Modelo URS ou BCC (3).	27
Equação 9.	Formulação do Problema de Programação Linear para a Solução do Modelo URS ou BCC (4).	27
Equação 10.	Cálculo do Desempenho Global de Continuidade	37
Equação 11.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (1)	54
Equação 12.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (2)	54
Equação 13.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (3)	54
Equação 14.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (4)	54
Equação 15.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (5)	54
Equação 16.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (6)	55
Equação 17.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada	55

	Comissionária (7)	
Equação 18.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (8)	55
Equação 19.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (9)	55
Equação 20.	Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma determinada Comissionária (10)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Indicadores de continuidade apurados pelas concessionárias.	33
Tabela 2.	Amostra de dados de duas concessionárias para o cálculo do DGC.	37
Tabela 3.	Termos de busca utilizados na base Scopus.	38
Tabela 4.	Variáveis a serem consideradas para a análise e utilizadas como Inputs/Outputs do modelo DEA neste trabalho.	47
Tabela 5.	Concessionárias selecionadas para a composição do banco de dados a ser utilizado neste trabalho.	53
Tabela 6.	Atributos utilizados para cada ano na simulação.	57
Tabela 7.	Índices de eficiência calculados pelo Solver no MS-Excel, considerando os somatórios de DIC e FIC.	58
Tabela 8.	Classificação das concessionárias pela evolução da eficiência.	59
Tabela 9.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2006.	76
Tabela 10.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2007.	77
Tabela 11.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2008.	78
Tabela 12.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2009.	79
Tabela 13.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2010.	80
Tabela 14.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2012.	81
Tabela 15.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2013.	82
Tabela 16.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2015.	83
Tabela 17.	Dados coletados e consolidados para o ano de 2015.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABRADEE:	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.
ANEEL	Agência Brasileira de Energia Elétrica.
BDGD:	Base de Dados Geográfica da Distribuidora
CD:	Conjunto de Distribuição.
CRS:	Constant Returns to Scale (Retorno Constante de Escala).
DEA:	Data Envelopment Analysis (Análise por Envoltória de Dados).
DEC:	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
DIC:	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão.
FEC:	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC:	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão.
PRODIST:	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
SED:	Subestação de Distribuição
SET:	Subestação de Transmissão.
SIN:	Sistema Interligado Nacional.
TD:	Transformador de Distribuição
UC:	Unidade Consumidora
VRS:	Variable Returns to Scale - Retorno Variável de Escala
WhWatt-hora:	. Unidade de medida de consumo de energia elétrica.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.	18
1.1.	CONTEXTO.	18
1.2.	OBJETIVOS.	20
1.2.1.	Objetivo Geral.	20
1.2.2.	Objetivos Específicos.	20
1.3.	PROBLEMÁTICA E HIPÓTESES.	20
1.3.1.	Problemática	21
1.3.2.	Hipóteses	21
1.4.	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.	22
2.	REVISÃO DE LITERATURA.	23
2.1.	ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS.	23
2.1.1.	Retornos Constantes de Escala: modelo CCR ou CRS	23
2.1.2.	Retornos Variáveis de Escala: modelo BCC ou VRS	26
2.2.	ALGORITMO DE AGRUPAMENTO K-MEANS.	28
2.3.	O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.	30
2.4.	QUALIDADE DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	33
2.5.	BIBLIOMETRIA.	38
2.6.	TRABALHOS CORRELATOS.	41
3.	METODOLOGIA	45
3.1.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.	45
3.2.	PESQUISA METODOLÓGICA.	45
3.2.1.	Custos de Operação	48
3.3.	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.	49

3.4.	POPULAÇÃO E AMOSTRA.	51
4.	ESTUDO PROPOSTO	52
4.1.	AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DEC E FEC.	53
4.2.	EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA.	56
4.3.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4.4.	TESTE DAS HIPÓTESES.	63
5.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.	65
5.1.	ASPECTOS GERAIS.	65
5.2.	CONCLUSÕES.	66
5.3.	TRABALHOS FUTUROS.	67
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	69
	ANEXO A: DADOS ANUAIS COLETADOS E CONSOLIDADOS.	75

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

O uso da energia elétrica pela humanidade desencadeou grandes avanços econômicos, sociais e tecnológicos através dos tempos, de modo que nos dias atuais a energia elétrica é um insumo básico da sobrevivência e do desenvolvimento contínuo da sociedade. Iluminação de ambientes, preparação e conservação de alimentos, entretenimento, funcionamento de equipamentos hospitalares para diagnóstico e cirurgias, climatização de ambientes e acionamento de complexas máquinas industriais para a produção de bens de consumo são alguns dos mais diversos exemplos de usos e aplicações da energia elétrica para o benefício das sociedades modernas.

Ao longo dos anos, cada vez mais, a demanda por energia elétrica vem aumentando nas sociedades. No Brasil, segundo os dados do IBGE (2016) e da ANEEL (2016), representado no gráfico 1, o número de domicílios brasileiros com iluminação elétrica aumentou 27,3% entre 2006 e 2015, representando um crescimento de mais de 14 milhões de residências com acesso à energia elétrica. Acompanhando esta tendência, o consumo de energia, a partir dos dados consolidados de faturamento de todas as empresas de distribuição, apresentou um aumento de cerca de 42% para o mesmo período, o que significou, em termos práticos, um aumento de cerca de 101 TWh. Estes dados mostram que houve uma constante e crescente demanda por energia elétrica no país que tende a permanecer ao longo do tempo, uma vez que a tendência nos domicílios é a de

haver cada vez mais outros equipamentos que também necessitem deste tipo de energia para o seu funcionamento.

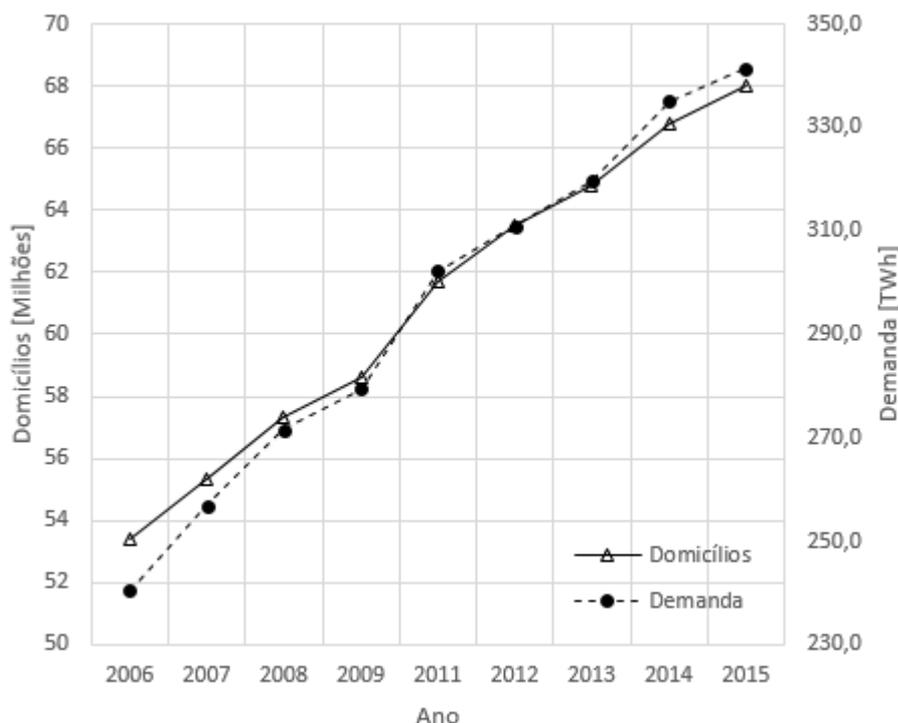


Gráfico 1. Domicílios com iluminação elétrica e demanda de energia entre 2006 e 2015.
Fonte: Elaborado pelo autor ((2017) a partir de IBGE (2016) e da ANEEL (2016))

Com esta crescente demanda por energia elétrica, elevam-se também os padrões requeridos para a qualidade da energia em si e dos serviços de distribuição, pois, avarias causadas em equipamentos, maquinários e instalações devido à baixa qualidade da energia elétrica e prejuízos decorrentes da interrupção dos serviços de distribuição são situações indesejáveis, pois o impacto desses eventos é grande, tal é a dependência da energia elétrica na sociedade.

Segundo Giannakis, Jamasb, e Pollitt (2005), as experiências internacionais mostram que métodos de avaliação comparativa (Benchmarking) tem sido utilizadas pelos agentes reguladores para ajustar custos, mas estes métodos não foram estendidos para abranger a qualidade dos serviços. Ainda segundo os mesmos autores, todas as partes envolvidas no setor de energia elétrica se beneficiarão de estudos comparativos que levam em conta a qualidade do fornecimento, pois os consumidores poderão avaliar melhor a qualidade do serviço que recebem, as

distribuidoras poderiam comparar o seu desempenho com as melhores do setor e realizar trabalhos de melhoria internos e os agentes poderão estabelecer incentivos para que as distribuidoras atinjam as metas propostas.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência das concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil no período de 2006 a 2015, no que se refere à qualidade dos serviços prestados.

1.2.2. Objetivos Específicos

(I). Avaliar criticamente os indicadores e atributos utilizados na literatura existente para avaliação da eficiência dos serviços de distribuição de energia (DEC e FEC), verificando se são tecnicamente coerentes e concisos com a metodologia proposta.

(II). Propor uma abordagem para o uso de resultados indesejados na composição da análise da eficiência dos serviços de distribuição elétrica.

(III). Observar a tendência de evolução das eficiências das concessionárias de distribuição com base nas avaliações no período de 2006 a 2015.

1.3. PROBLEMÁTICA E HIPÓTESES

Tendo em vista o contexto no qual está inserido e os objetivos especificados, são apresentadas algumas questões para as quais se buscam respostas neste trabalho, a saber:

1.3.1. Problemática

Os atributos utilizados na literatura existente, que considera ou propõe a avaliação da eficiência nos serviços de distribuição de energia elétrica, são tecnicamente coerentes com a metodologia utilizada?

(1). Ainda sobre os atributos utilizados na literatura existente, quais são as considerações ou tratamentos propostos para aqueles que representam os resultados indesejados das distribuidoras, de modo a serem utilizados na metodologia proposta?

(2). Nos últimos 10 anos, as exigências regulatórias que foram implementadas influenciaram o comportamento da eficiência das empresas de distribuição de energia brasileiras?

1.3.2. Hipóteses

As hipóteses a serem testadas são:

(A). Os indicadores de continuidade coletivos (razões entre fatores de descontinuidade e conjuntos de unidades consumidoras), tais como o DEC e FEC, proposto para concessionárias brasileiras no trabalho de Tschaffon e Meza (2014) ou os similares SAIFI e SAIDI, proposto para concessionárias iranianas no trabalho de Simab e Haghifam (2012) não são coerentes com as metodologias propostas, por serem atributos relativos e não absolutos.

(B). Caso a hipótese acima seja verdadeira, a utilização dos atributos que geram os indicadores de continuidade coletivos no método proposto influenciará os resultados obtidos, trazendo maior consistência para os fatores de eficiência encontrados para cada concessionária.

(C). A aplicação da metodologia para avaliar a evolução da eficiência das empresas de distribuição mostrará que existem empresas que se beneficiaram das exigências regulatórias e tendem, ao longo do tempo a se tornarem os benchmarks no mercado

de distribuição de energia.

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O Trabalho está estruturado em:

(1). Capítulo 2: Revisão de Literatura: será apresentado um breve histórico do tema, revisão de trabalhos mais relevantes e a base conceitual.

(2). Capítulo 3: metodologia: Na qual foi empregada neste trabalho, classificando o tipo de pesquisa, metodologia em si, procedimentos, população e amostra, técnicas e limitações.

(3). No Capítulo 4: Estudo proposto: Com seus resultados apresentados, bem como sua avaliação crítica e discussões relacionadas aos mesmos.

(4). Capítulo 5: Conclusões e Trabalhos Futuros: são apresentadas as conclusões quanto aos objetivos, bem como uma sugestão de trabalhos futuros que poderão ser realizados a partir deste.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

2.1.1. Retornos constantes de escala: Modelo CCR ou CRS

Em 1978, Charnes, Cooper, e Rodhes (1978) desenvolveram um modelo de programação linear que, pode ser utilizado para determinar a eficiência relativa entre unidades produtivas (ou *DMUs - Decision Making Units*), modelo este que ficou conhecido como Análise Envoltória de Dados ou DEA (*Data Envelopment Analysis*). O modelo desenvolvido parte da premissa que as DMUs são escaláveis, ou seja, possuem características de retorno constante de escala, e também que as DMUs seguem o princípio da isoquanta, onde diferentes combinações de insumos ou recursos de produção (Entradas ou Inputs) resultam na mesma quantidade de produto ou serviço final (Saídas ou Output). Este modelo ficou conhecido com CCR (devido ao nome dos autores) ou CRS (*Constant Return to Scale*).

A medida de eficiência de uma DMU é obtida através do valor máximo da razão entre saídas selecionadas para o modelo (*Outputs*), que representam os resultados da DMU, resultados estes que podem ser produtos ou serviços, e as entradas (*Inputs*), que representam os insumos e recursos utilizados para a produção dos produtos finais ou na prestação dos serviços. Cada *Input* e *Output* possui um peso associado e o processo de se encontrar a(s) DMU(s) mais eficiente(s) consiste em resolver um problema de programação linear para encontrar

os valores dos pesos associados a cada Input e Output de modo a maximizar o resultado. A formulação deste modelo está indicada na Equação 1.

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

Equação 1: Cálculo da medida de eficiência de uma DMU (1)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1;$$

Equação 2: Cálculo da medida de eficiência de uma DMU (2)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$u_r, v_i \geq 0; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m;$$

Onde:

- h_o - Eficiência da DMU em avaliação.
- u_r - Pesos das saídas para a DMU em avaliação.
- v_i - Pesos das entradas para a DMU em avaliação.
- y_{rj} - Atributos de saída da DMU.
- x_{ij} - Atributos de entrada da DMU.

O modelo apresentado na Equação 1, que é uma forma fracionária, pode ser reformulado algebricamente, como mostrado na Equação 3.

$$\max h_o = u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so} (= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj})$$

Equação 3: Cálculo da medida de eficiência de uma DMU (3)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo} = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1;$$

$$u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}$$

A última restrição da notação algébrica apresentada na Equação 3 também pode ser representada como mostrado na Equação 4.

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$$

Equação 4: Cálculo da medida de eficiência de uma DMU (4)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Assim, o modelo apresentado na Equação 1 poderá ser resolvido através do problema de programação linear proposto na Equação 5:

$$\max h_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$$

Equação 5: Cálculo da medida de eficiência de uma DMU (5)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{io} ; j = 1, \dots, n;$$

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

Onde:

- j - Índice das DMUs.
- r - Índice das saídas das DMUs.
- i - Índice das entradas das DMUs.
- h_o - Eficiência da DMU em avaliação.
- u_r - Pesos atribuídos para as saídas das DMUs.
- v_i - Pesos atribuídos para as entradas das DMUs.
- y_{rj} - Atributos de saída da DMU.
- x_{ij} - Atributos de entrada da DMU.

Logo, neste modelo, os pesos u_r e v_i são ajustados para as entradas e saídas de cada DMU sob avaliação de modo a maximizar o seu resultado. Ao final do processo, serão encontradas uma ou mais DMUs onde valor de h_o (Equação 1) seja máximo, o que significa encontrar uma ou mais DMUs eficientes. Desta forma, uma fronteira de eficiência é traçada e todas as DMUs em questão que estiverem sobre ou próximos a esta fronteira, são mais eficientes do que aquelas que se encontram mais afastadas da mesma.

2.1.2. Retornos variáveis de escala – BCC ou VRS

Em 1984, Banker, Charnes e Cooper (1984) fizeram uma proposta de introduzir uma variável na modelagem DEA de maneira que pudessem ser consideradas regiões onde haveria um retorno crescente, constante (onde o modelo se comporta como a abordagem CRS DEA) e decrescente de escala.

A formulação do problema de programação linear para solução do modelo VRS ou BCC está mostrada na Equação 6 e, como pode ser observado, é o mesmo

modelo CRS apresentado na Equação 5, mas adicionado da variável livre C_0 na função objetivo e, conseqüentemente nas restrições. Assim, a resolução do problema resultará em encontrar os vetores de pesos u_r e v_i , bem como a variável C_0 , que ajustará a concavidade da fronteira de eficiência, ajustando as diferenças de escala das DMUs.

$$\max h_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + C_0$$

Equação 6: Formulação do Problema de Programação Linear para Solução do Modelo VRS ou BCC
(1)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{io} + C_0 \leq 0; j = 1, \dots, n;$$

Equação 7: Formulação do Problema de Programação Linear para Solução do Modelo VRS ou BCC
(2).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

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

Equação 8: Formulação do Problema de Programação Linear para Solução do Modelo VRS ou BCC
(3)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$u_r, v_i \geq 0;$$

Equação 9: Formulação do Problema de Programação Linear para Solução do Modelo VRS ou BCC
(4)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

E a sentença Matemática: $C_0 \in \mathbb{R}$; Onde:

j - Índice das DMUs.

- r - Índice das saídas das DMUs.
- i - Índice das entradas das DMUs.
- h_o - Eficiência da DMU em avaliação.
- u_r - Pesos atribuídos para as saídas das DMUs.
- v_i - Pesos atribuídos para as entradas das DMUs.
- y_{rj} - Atributos de saída da DMU.
- x_{ij} - Atributos de entrada da DMU.
- C_o - Fator de escala.

O Gráfico 2 mostra uma representação das fronteiras de eficiência dos modelos CRS e VRS. Observa-se que, neste exemplo hipotético, que possui apenas uma entrada e uma saída, as DMUs “A” e “B” são eficientes em quaisquer dos modelos, mas as DMUs “C” e “D”, que no modelo CRS são ineficientes, se tornam eficientes no modelo VRS, pois são feitas naquele caso considerações de escala que as colocam sobre a fronteira.

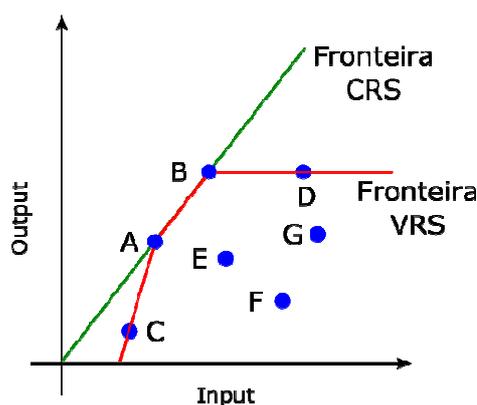


Gráfico 2. Exemplo das fronteiras de eficiência nos modelos CRS e VRS
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

2.2. ALGORITMO DE AGRUPAMENTO *K-MEANS*

A análise por agrupamento (ou *Cluster analysis*) é uma tarefa de agrupar um

conjunto de objetos em diferentes grupos ou clusters por similaridade, de maneira tal que os objetos de um cluster são mais similares do que os objetos de outros clusters.

Dentre as técnicas de clusterização, destaca-se o *k-means*, proposto inicialmente por Stuart P. Lloyd em 1957, mas publicado somente em 1982, conforme descrito por Lloyd (1982). A aplicação inicial deste algoritmo foi nas comunicações de dados, mais especificamente na modulação por código de pulsos ou PCM. Em síntese, o Algoritmo *k-means* divide o conjunto que se deseja analisar em *k* grupos ou *clusters* com pontos centrais (ou centróides) de modo que um objeto no conjunto pertence ao grupo cujo centróide esteja mais próximo em relação aos demais. Na prática, a média dos objetos que compõem um grupo é igual ao centróide deste grupo.

Conforme descrito por MacKay (2003), numa abordagem computacional, esta técnica se resume a um processo iterativo, onde a sequência de operações a seguir é realizada:

- (1). **Inicialização** - São gerados *k* centróides aleatórios.
- (2). **Alocação** - Cada ponto do conjunto é associado ao centróide mais próximo.
- (3). **Atualização** - Calcula-se a média dos pontos de cada grupo. A média de cada grupo será o novo centróide.
- (4). **Repetição** - Volta-se ao passo 2 até que os centróides fiquem estáveis.

Esta técnica pode ser utilizada para conjuntos de dados de qualquer dimensão. A Figura 1 mostra um exemplo de aplicação do algoritmo *k-means* em um conjunto de dados unidimensional, formando, naquele caso, quatro grupos ($k = 4$).



Figura 1. Exemplo de aplicação do algoritmo *k-means* em um conjunto de dados unidimensional, formando quatro grupos ($k = 4$).
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

É importante salientar que o exemplo particular mostrado na figura 1 difere da técnica dos quartis, pois o conjunto de dados não é dividido em 4 grupos com igual número de amostras, mas sim em 4 grupos que possuam, cada um, características semelhantes.

2.3. O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Segundo os dados da Agência Americana de Administração de Informações Energéticas, EIA (2012), o Brasil é o país que possui a maior capacidade instalada de geração de energia elétrica da América Latina, detendo cerca de 42% da capacidade total do continente, sendo que no âmbito mundial, é o décimo país nesta mesma categoria, com cerca de 2,2% da capacidade.

O ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), é o órgão brasileiro responsável por controlar e coordenar as operações das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN (Sistema Interligado Nacional), sendo este órgão fiscalizado e regulado pela ANEEL. Em 2015, a extensão de todas as redes de transmissão que compõem o SIN ultrapassavam 129 mil km, um crescimento de 3,2% em relação a 2014, sendo considerado por aquele órgão, pelas suas características e complexidade, um sistema único no mundo. Naquele mesmo ano, a capacidade instalada no SIN, considerando todas as formas de geração era de pouco mais de 128 GW, sendo 71,3% desse montante produzidos por usinas Hidroelétricas (ONS, 2016).

Neste complexo sistema de geração, transmissão e distribuição, estão presentes diversas empresas públicas, mistas e privadas, que exploram recursos naturais existentes para a geração de energia, bem como prestam os serviços de transmissão e distribuição da energia elétrica no país.

As atividades de transmissão e distribuição da energia (bem como a de geração), são regulamentadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que foi implementada em 26 de dezembro de 1996 através da lei 9.427 (BRASIL, 1996, p. 9). Das suas atribuições podem ser salientadas: (a) regular as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica, (b) fiscalizar das concessões, permissões e os serviços de energia elétrica, (c) implementar as diretrizes do governo relacionados à exploração da energia elétrica e o aproveitamento dos potenciais hidráulicos, (d) estabelecer tarifas e (e) dirimir divergências administrativas entre agentes e consumidores. Assim, baseado nas atribuições (a) e (b) a ANEEL é o órgão responsável por estabelecer exigências quanto à qualidade do produto (parâmetros da energia elétrica entregue aos consumidores) e dos serviços prestados (dentre eles, a continuidade da alimentação elétrica nos consumidores finais), de modo que os consumidores tenham um serviço adequado.

A lei 8.987 de 13 de fevereiro de 1995 define que “Serviço Adequado é o que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas” (BRASIL, 1995).

Dentro desta definição de Serviço Adequado, considerando os serviços de distribuição de energia elétrica, entende-se que a regularidade, continuidade e segurança, no que se refere aos serviços de distribuição de energia elétrica, estão diretamente ligadas à conservação e manutenção da infraestrutura que leva a energia elétrica até as unidades consumidoras, de modo a minimizar as falhas nessa infraestrutura e assim evitar a interrupção frequente e/ou prolongada do serviço.

A atualidade está relacionada com investimentos em modernização da infraestrutura utilizada para a prestação do serviço. A generalidade e a cortesia, por sua vez, são refletidas nos atendimentos aos consumidores, resolução de dúvidas,

acolhimento e tratamento de reclamações e compensações aos consumidores em função de falhas operacionais que resultam em prejuízos de qualquer natureza aos mesmos.

A modicidade das tarifas representa uma maneira que o consumidor avalia a relação custo/benefício da prestação do serviço contratado.

E por fim, mas não menos importante, a eficiência deve fazer parte do âmbito regulatório, de modo que órgãos fiscalizadores possam exigir que os prestadores de serviços de distribuição implementem e mantenham padrões de excelência e qualidade nos serviços prestados, tomando como base as distribuidoras que apresentem os melhores resultados.

Para regulamentar a distribuição de energia elétrica no país, a ANEEL mantém procedimentos que são agrupados em módulos do chamado PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), que estão organizados em módulos estruturados e relacionados conforme mostrado na Figura 2:

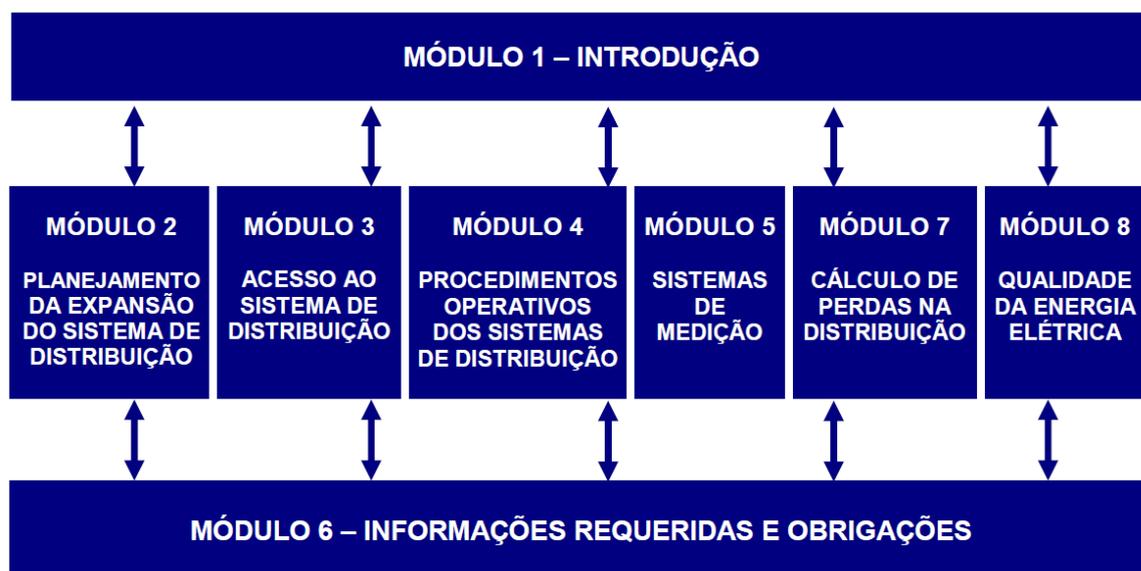


Figura 2. Estrutura e relacionamento dos módulos do PRODIST
Fonte: ANEEL (2016b)

2.4. QUALIDADE DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2016b), a ANEEL estabelece os parâmetros utilizados no controle da qualidade da energia elétrica. Este controle compreende, basicamente, a Qualidade do Produto (Seção 8.1), que se refere à qualidade da energia elétrica propriamente dita, como valores admissíveis de tensão, frequência, harmônicos e fator de potência, e a Qualidade do Serviço (Seção 8.2) que se refere às características do serviço de fornecimento, tais como a continuidade dos serviços (duração e frequência de interrupções), tempo de atendimento a ocorrências emergenciais e atendimento de reclamações de consumidores.

Dentre os requisitos da qualidade dos serviços estão os indicadores de continuidade individuais e coletivos dos serviços de distribuição, que são basicamente o FIC e DIC e o FEC e DEC, respectivamente, sendo que cada concessionária possui limites estabelecidos pela ANEEL, limites estes que levam em consideração a BDGD (Base de Dados Geográfica da Distribuidora), de onde são extraídos os atributos físico-elétricos de cada conjunto de distribuição. Os limites e os valores apurados são estabelecidos para intervalos mensais, trimestrais e anuais de acordo com (ANEEL, 2016b). A **Tabela** define e detalha os indicadores de continuidade individuais e coletivos apurados pelas concessionárias. A ANEEL exige que as concessionárias de energia elétrica calculem e apresentem estes indicadores até o último dia útil do mês seguinte ao da apuração (ANEEL, 2016b).

Tabela 1. Indicadores de continuidade apurados pelas concessionárias.

INDICADOR	DESCRIÇÃO	CÁLCULO
DIC	Duração de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão	$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$
FIC	Frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão	$FIC = n$
DEC	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora ou ponto de conexão	$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n DIC}{C_c}$
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou ponto de conexão	$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n FIC}{C_c}$

Fonte: ANEEL (2016b)

Onde:

- $t(i)$ - Tempo em horas da interrupção i no consumidor considerado.
- N - Número de interrupções da unidade consumidora considerada.
- Cc - Número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto.

Os índices DIC e FIC são medidos por unidade individual consumidora e os índices de DEC e FEC são calculados (por isso, chamados de equivalentes) por conjunto de distribuição, sendo que a ANEEL define, para cada conjunto, valores limites de DEC e FEC, com base na BDGD (Base de Dados Geográficos da Distribuidora), que contém informações das quais a ANEEL pode extrair os atributos físico-elétricos dos conjuntos de unidades consumidoras, conforme descrito em (ANEEL, 2016b).

A figura 3 apresenta a estrutura simplificada do sistema elétrico brasileiro, considerando a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e os componentes principais deste sistema. No caso da distribuição de energia elétrica, as concessionárias possuem vários Conjuntos de Distribuição (CDs) espalhados por sua área de abrangência, que irão atender as Unidades Consumidoras (UCs), sejam eles residenciais, comerciais, industriais ou rurais. A estrutura do Conjunto de Distribuição compreende os cabamentos, transformadores de distribuição e dispositivos de manobra e proteção elétrica do sistema (não representados na figura).

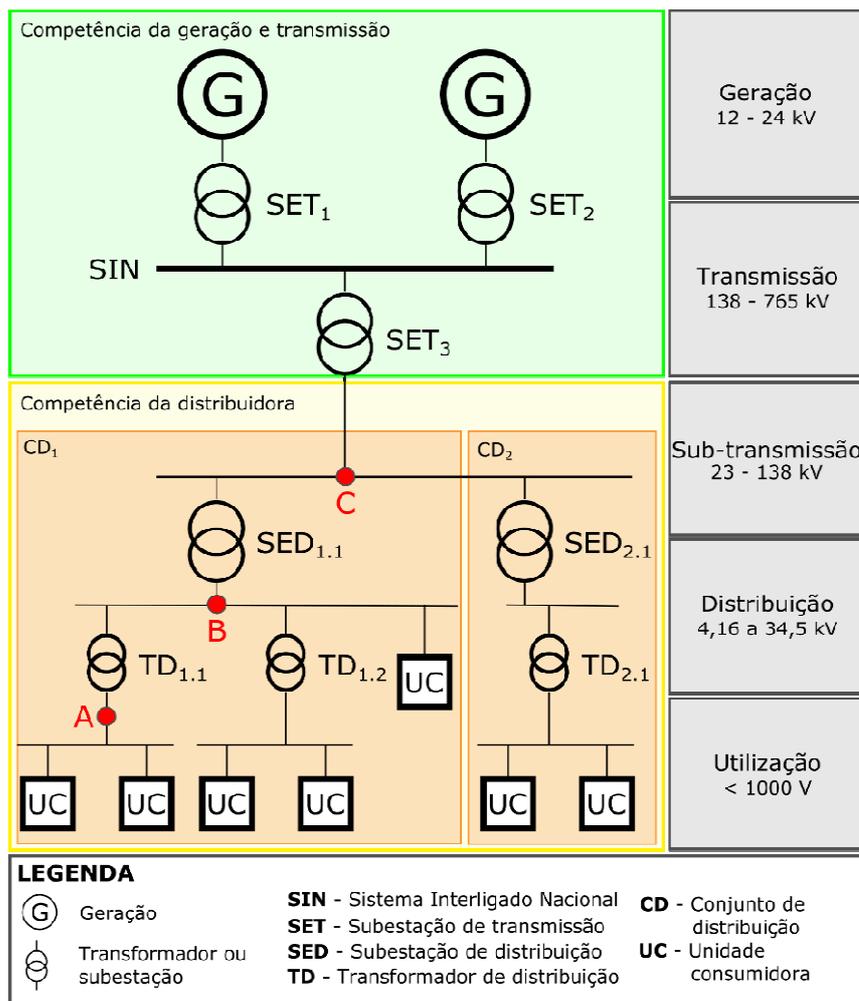


Figura 3. Estrutura simplificada do sistema elétrico brasileiro.
Fonte: Elaborado pelo autor ((2017) a partir de dados obtidos pela ANEEL (2008)).

Para uma melhor compreensão dos indicadores de continuidade para os objetivos deste trabalho, tomando como base a **Figura**, supondo que em um determinado mês ocorram 5 interrupções com duração total de 2 horas no ponto A, somente as unidades consumidoras atendidas pelo transformador de distribuição TD_{1.1} seriam afetadas. Logo, para cada uma destas unidades consumidoras, o valor de DIC será 2,0 e o valor de FIC será 5,0 e os valores de Σ DIC e Σ FIC serão 4,0 e 10,0 respectivamente, para o conjunto de distribuição naquele mês.

Aplicando os conceitos indicados na **Tabela**, percebe-se que os valores de DEC e FEC são relativizados pelo número de unidades consumidoras do conjunto de distribuição (em outras palavras, são médias). Assim, no mesmo caso citado, para todas as unidades do conjunto de distribuição CD₁ (as que foram e as que não

foram afetadas pelas interrupções) os valores destes indicadores será o mesmo, a saber, DEC=0,8 e FEC=2. Assim, considerando ainda a figura 3, mesmo sem terem percebido nenhuma interrupção no serviço, os valores de DEC e FEC para as unidades conectadas ao transformador TD_{1.2} e SED_{1.1} (Consumidor alimentado em alta tensão) se aplicam a estes consumidores, para os quais não houve prejuízo ou percepção de falha na qualidade do serviço prestado.

As distribuidoras de energia, seguindo a regulamentação específica da ANEEL, (PRODIST, módulo 8, seção 8.2, item 5.13.2), apresentam os indicadores de qualidade da energia elétrica na fatura mensal enviada aos consumidores. Os valores apresentados são, dentre outros o DIC e o FIC, bem como os seus limites correspondentes para períodos mensal, trimestral e anual, de modo a disponibilizar para o consumidor os dados relacionados à qualidade dos serviços de distribuição.

Ainda relacionado à qualidade do serviço, conforme previsto no Módulo 8 do PRODIST, desde 2011 a ANEEL realiza o cálculo do DGC - Desempenho Global de Continuidade, que tem como objetivo comparar anualmente o desempenho das distribuidoras, sendo os resultados divulgados no site da ANEEL. As etapas de cálculo deste indicador, conforme (ANEEL, 2015) são:

- (1). Cálculo dos indicadores anuais globais DEC e FEC da distribuidora, tanto dos valores apurados quanto dos limites;
- (2). Cálculo do desempenho relativo anual para os indicadores DEC e FEC, que consiste na razão do valor apurado pelo limite dos indicadores;
- (3). Cálculo do desempenho relativo global, que consiste na média aritmética simples entre os desempenhos relativos anuais dos indicadores DEC e FEC, com duas casas decimais; e
- (4). Apuração do indicador de desempenho global de continuidade, obtido após a ordenação, de forma crescente, dos desempenhos relativos globais das distribuidoras.

Na forma matemática, o DGC é calculado como mostra a Equação 9 e, conforme indicado na metodologia do cálculo, quanto menor o valor do DGC, melhor será o desempenho da concessionária.

$$DGC = \frac{\left(\frac{DEC_{Apurado}}{DEC_{Limite}} + \frac{FEC_{Apurado}}{FEC_{Limite}} \right)}{2}$$

Equação 10: Cálculo do Desempenho Global de Continuidade (DGC)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Onde:

DGC – Desempenho Global de Continuidade

$DEC_{Apurado}$ – DEC apurado anualmente

DEC_{Limite} – Limite anual para o valor de DEC

$FEC_{Apurado}$ – FEC apurado anualmente

FEC_{Limite} – Limite anual para o valor de FEC

Para exemplificar o cálculo do DGC, a **Tabela** mostra os dados apurados de dois conjuntos de distribuição sob responsabilidade de duas concessionárias distintas no ano de 2015, extraídos de (ANEEL, 2016a).

Tabela 2. Amostra de dados de duas concessionárias para o cálculo do DGC retirados de ANEEL (2016)

Concessionária	Conjunto	$DEC_{Apurado}$	DEC_{Limite}	$FEC_{Apurado}$	FEC_{Limite}
CEMAR	Belágua	56,38	34	17,03	21
	Sambaíba	5,34	57	8,82	65
CPFL-Sta Cruz	Ourinhos	2,16	10	3,10	16
	Ubirajara	21,41	22	11,87	35

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Assim, aplicando-se a Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.** nos dados referentes a cada empresa, a CEMAR obteria o DGC igual a 0, 49, enquanto que para a CPFL-Sta Cruz, o DGC seria 0, 52, o que colocaria, no

Ranking, a CEMAR em uma posição melhor do que a CPFL-Sta Cruz, neste exemplo. Contudo, observando o que os dados apurados representam, observa-se que para os consumidores da CPFL-Sta Cruz, em nenhum dos conjuntos apresentados os valores apurados superaram os limites, mas no caso da CEMAR, os consumidores do conjunto Belágua perceberam uma duração média de interrupções (DEC é uma média, como mostrado anteriormente) em torno de 66% maior do que o limite estabelecido e, em contrapartida, no conjunto Sambaíba, os consumidores experimentaram interrupções com durações que não chegaram a 10% do limite estabelecido.

Assim, pode ser observada que nesta metodologia, os somatórios dos valores apurados e dos limites de todos os conjuntos de distribuição de cada concessionária acabam por gerar uma compensação dos conjuntos onde o limite foi excedido, por aqueles onde os valores apurados ficaram bem abaixo dos máximos estabelecidos.

2.5. BIBLIOMETRIA

Foi realizada uma pesquisa na base de artigos Scopus de modo a verificar a aplicabilidade da metodologia DEA na mensuração da eficiência de empresas do setor elétrico, especificamente na distribuição de energia elétrica, dentro da comunidade científica. Para tal pesquisa, foram utilizados os termos mostrado na **Tabela .**

Tabela 3. Termos de busca que são utilizados na base Scopus

Termo	Campo	Comentário
("Data Envelopment Analysis" OR DEA OR Frontier)	TRP	DEA e seus tesouros
AND (energ* OR power* OR electric*) AND distribution AND (compan* OR facilit*)	TRP	Energia e seus tesouros
AND PUBYear > 2004 AND PUBYear < 2016	AP	Corte temporal

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Onde:

TRP - Título, resumo e palavras-chave.

AP - Ano de publicação

Como resultados, foram encontrados 50 artigos. Considerando-se o país de origem dos artigos, conforme pode ser observado no Gráfico 3, o Brasil aparece em segundo lugar com 6 artigos escritos de acordo com os termos de pesquisa encontrados.

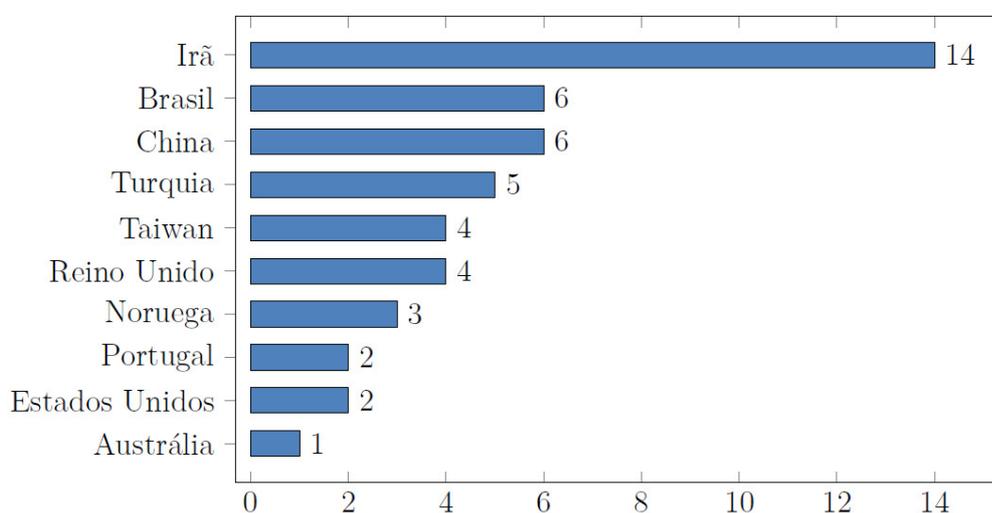


Gráfico 3. Quantidade de artigos escritos por país entre 2006 e 2015
Fonte: Base Scopus (2016).

Da pesquisa inicial de artigos realizada, foram selecionados em seguida apenas os que foram citados em outros trabalhos, o que resultou em 33 artigos. A distribuição anual do número de artigos e total de citações destes artigos por outros trabalhos está resumida no Gráfico 4

Fonte: Feinberg (2014).

2.6. TRABALHOS CORRELATOS

Os 10 artigos mais citados escolhidos na seção anterior foram avaliados, bem como outros artigos relevantes observados durante as pesquisas metodológicas e a seguir são apresentadas as ideias centrais de cada trabalho.

No trabalho de Pombo e Taborda (2006), os autores fazem a aplicação da metodologia DEA para avaliar a eficiência técnica das empresas de distribuição de energia colombianas para compor uma análise dos impactos da reforma regulatória do setor elétrico adotada naquele país no ano de 1994. A avaliação da evolução foi realizada entre os anos de 1985 até 2001 (16 anos) e os autores concluíram que em 12 empresas que atuavam na distribuição de energia nos centros urbanos houve uma melhoria da eficiência dos serviços após as reformas regulatórias de 1994, dentre outras observações.

Sadjadi e Omrani (2008) abordam a aplicação da metodologia DEA na presença de dados incertos dos resultados de 38 empresas iranianas de distribuição de energia no ano de 2004. Neste trabalho os autores propõem um novo modelo DEA com a consideração de incertezas nos valores de saída, baseados em abordagens de otimização robustas. Khodabakhshi (2010) também aborda a questão da incerteza dos dados para a utilização da metodologia DEA e propõe um modelo de “super eficiência” orientado a outputs para considerar as variações estocásticas nos dados de entrada e saída do modelo DEA, utilizando os dados de 17 empresas iranianas de distribuição para ilustrar os métodos desenvolvidos naquele trabalho.

Ainda no contexto de distribuição de energia elétrica no Irã, Sadjadi et al. (2011) também propõe um novo modelo DEA robusto interativo para estabelecer metas para as empresas de distribuição iranianas, uma vez que uma das maiores dificuldades neste processo é lidar com as incertezas existentes nos dados de entrada e saída para o modelo DEA.

Já o trabalho de Kwoka e Pollitt (2010) faz a aplicação da metodologia DEA

para avaliar a eficiência de empresas de distribuição dos Estados Unidos, considerando as questões de fusões e aquisições, observando as eficiências antes e depois das fusões de cada empresa, considerando para isso 73 empresas de distribuição no período de 1994 a 2003. Como resultados, os autores conseguiram perceber nos resultados que as empresas compradoras não apresentavam boa performance antes das aquisições e pareciam efetuar a compra de empresas que apresentavam melhores performances.

O trabalho Yu, Jamasb e Pollitt (2009) aplica a análise de fatores (análise estatística de correlação e variabilidade) e o método DEA em dois estágios para examinar o efeito de condições importantes do tempo (vendavais, chuva de granizo, temperaturas, chuvas e tempestades) sobre a eficiência das redes de empresas de distribuição elétrica no Reino Unido. Como resultados, os autores identificaram que estes fatores não possuem efeitos econômicos ou estatísticos significativos em termos da eficiência econômica das empresas.

No trabalho de Yang e Lu (2006), os autores propõem a aplicação do DEA para explorar a eficiência, alocação de recursos e identificar os benchmarks das companhias de distribuição de energia elétrica de Taiwan no ano de 2003. Como resultados, os autores verificaram que: a) as empresas de distribuição de energia que cobriam os parques industriais de tecnologia eram mais eficientes daquelas envolvidas em outras regiões industriais; b) a eficiência das empresas que cobriam áreas urbanas eram superiores às que cobriam áreas rurais; c) as empresas de maior porte geralmente conseguem integrar os recursos e atuar com mais eficiência; d) numa análise setorizada, as empresas de menor porte tem mais facilidade de tornarem benchmarks enquanto que as empresas de maior porte são nichos de competição; e e) os autores sugerem que o efeito das fusões e aquisições deve ser investigado de modo a explorar a possibilidade de aumentar as vantagens competitivas das empresas no futuro.

O trabalho de Çelen (2013) apresenta uma análise de performances da eficiência de 21 empresas de distribuição de energia elétrica da Turquia no período de 2002 a 2009, empregando DEA em dois estágios, sendo que o primeiro deles considera a utilização do DEA para determinar a eficiência das empresas e, em

seguida, é utilizado o modelo de Tobit, considerando as eficiências calculadas anteriormente como variáveis de entrada para determinar as variáveis do ambiente de negócios que possam explicar esta eficiência. Como resultados, os autores identificaram que, de acordo com a densidade de clientes, a região de atuação e o tipo de empresa (privada ou estatal), os índices de eficiência são afetados e sugerem como a melhor estratégia para melhorar a eficiência no mercado é a privatização das empresas do setor.

No trabalho de Lins et al. (2007) é feita uma proposição de um modelo que possa integrar as perspectivas do agente regulador e das empresas de distribuição na medição da eficiência das empresas do setor de distribuição utilizando DEA. No trabalho é apresentado um estudo de caso considerando dados de 20 empresas de distribuição de energia brasileiras no ano de 2000. Um ponto que chama a atenção neste trabalho é que os autores utilizam uma análise gráfica dentro da metodologia proposta e, para isso, consideram um modelo sem saídas e com apenas duas entradas, sendo que uma dessas entradas é um fator composto pela razão dos Custos Operacionais pelo total da energia elétrica faturada e este resultado é dividido ainda pelo número total de empregados.

O trabalho de Tanure et al. (2006) propõe um procedimento e uma metodologia para estabelecer metas de performance relacionados com as medidas de continuidade e frequência de interrupção dos serviços de distribuição de energia. Os autores utilizam o DEA para determinar a eficiência das empresas de distribuição e em seguida aplicam uma técnica de clusterização dinâmica para realizar análises comparativas entre conjuntos de distribuição similares. Para o estudo de caso foram consideradas as 7 maiores empresas de distribuição do Brasil, cujos dados selecionados como entradas e saídas foram submetidas à modelagem DEA para obtenção dos índices de eficiência. Numa segunda análise, foram considerados os 924 conjuntos de distribuição das empresas selecionadas que foram agrupados segundo uma técnica de clusterização, de modo que em seguida, as metas para os indicadores DEC e FEC pudessem ser estabelecidas para cada um dos conjuntos.

Ainda é importante salientar que Tanure et al. (2006), Tschaffon e Meza (2011), Pinheiro (2012) e Tschaffon e Meza (2014) propõem modelos de avaliação

da performance ou eficiência relativa entre companhias de distribuição elétrica brasileiras utilizando DEA e considerando os indicadores DEC e FEC como outputs nas análises. De modo similar, Simab e Haghifam (2012) propõem um algoritmo de apoio a um sistema de regulação baseado em recompensas e penalidades para companhias de distribuição iranianas baseado em DEA, utilizando indicadores SAIFI e SAIDI, que são similares ao FEC e DEC.

Como apresentado na seção 0, os indicadores FEC e DEC são razões entre a totalização da frequência individuais de interrupções (somatório do indicador FIC) e da totalização das durações individuais de interrupção (soma do indicador DIC) pela quantidade de unidades consumidoras que compõem cada conjunto de distribuição, respectivamente. Neste contexto emerge com elevado grau de importância, os trabalhos de Hollingsworth e Smith (2003), citado por outros 83 trabalhos, segundo a base SCOPUS, que pela primeira vez apontou erros no cálculo da eficiência no modelo CRS quando se utilizam razões ou frações (*ratios*) como entradas e/ou saídas para o modelo DEA, propondo e justificando a utilização do modelo VRS neste caso e, posteriormente, Emrouznejad e Amin (2009), citado por 46 outros trabalhos também segundo a base SCOPUS, que também trata do mesmo tema, mas considerando questões da convexidade das DMUs, apresentando e provando matematicamente que o uso da formulação DEA padrão para as observações que contem frações como entradas e/ou saídas podem resultar na obtenção de valores de eficiência incorretos, propondo alternativas para contornar estes casos.

3. METODOLOGIA

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho de pesquisa pode ser classificado conforme abaixo, de acordo com os critérios indicados:

- (1). **Quanto à natureza:** Aplicada, pois possui finalidades imediatas de rejeitar ou comprovar métodos já aplicados anteriormente com o mesmo fim.
- (2). **Quanto aos objetivos:** Descritiva, pois parte da observação de registro de fatos.
- (3). **Quanto à abordagem:** Quantitativa, uma vez que procura traduzir em números os conhecimentos gerados.
- (4). **Quanto aos procedimentos:** *Ex-post-facto*, pois se trata da análise sobre dados passados e fatos já ocorridos.

3.2. PESQUISA METODOLÓGICA

A metodologia a ser utilizada neste trabalho está centralizada na aplicação da Análise por Envoltória de Dados (DEA) para medir a eficiência relativa das concessionárias de distribuição de energia elétrica brasileiras no que se refere à qualidade do serviço prestado. Mais especificamente será utilizado o modelo DEA CRS (*Constant Returns of Scale* - Retorno Constante de Escala).

Um trabalho relevante a respeito da aplicação desta metodologia é o de DTE (2000) que apresenta as conclusões e recomendações da empresa de consultoria *Frontier Economics*, contratada pela agência reguladora do setor elétrico Holandês (*DTe - Dienst Toezicht en uitvoering Elektriciteitswet*) para determinar qual o melhor modelo para analisar a eficiência das companhias de eletricidade (geração e distribuição), com vistas ao aprimoramento da regulação econômica do setor. Naquele trabalho, os autores elencaram os modelos de benchmarking citados no documento de regulação utilizado pela DT e que foram:

- (1). Medidas unidimensionais de performance (ou indicadores de performance).
- (2). Índice de Tornqvist da produtividade multifator.
- (3). Análises de regressão como COLS (Corrected Least Squares) ou análise de fronteira estocástica.
- (4). Análise por envoltória de dados - DEA.
- (5). Índice de Malmquist da produtividade multifator.

Assim, os autores daquele trabalho verificaram que a melhor metodologia seria a aplicação do DEA, visto que a disponibilidade de dados restringia o range de abordagens que poderia ser utilizada. Do texto daquele trabalho podem ser citados os trechos: Enquanto todos os métodos são menos efetivos com tamanhos menores de amostra, as técnicas DEA exigem menos intensidade de dados do que métodos econométricos. A restrição de dados (disponíveis) nos guiam a adotar a abordagem DEA como nossa metodologia principal para estimar a eficiência. (p.6)

Modelos CRS são mais apropriados que modelos VRS, uma vez que se pretende continuar a avaliar a importância das variáveis de controle. Se uma empresa é consistentemente ineficiente em modelos em que as variáveis de controle são explicitamente incluídas, mas eficiente nos modelos VRS, isto sugere a presença de efeitos de escala não explicados. (p. 31)

Logo, como resultado, o modelo DEA CRS (*Constant Return of Scale*) foi escolhido por aqueles autores e assim também o será para este trabalho.

Será usado como referência para este trabalho os Inputs e Outputs selecionados no trabalho de Tschaffon e Meza (2014), que, com base no trabalho de Pessanha, Souza e Laurencel (2004) fazem uma avaliação da eficiência relativa de 20 concessionárias de distribuição de energia elétrica brasileiras no ano de 2008, mas adicionando aos dados escolhidos para Entradas/Saídas, os índices que representam a qualidade do serviço prestado (índices DEC e FEC, que também serão apresentados no Capítulo 0). Naquele trabalho, tais índices são considerados como saídas, pois representariam a quantificação de resultados ligados à qualidade do serviço prestado.

Ainda sobre estes indicadores, como abordado no Capítulo 0, trabalhos na literatura existente mostram que o uso de valores relativos ou frações como entradas ou saídas do modelo DEA, os índices de eficiência calculados nestes casos podem apresentar erros. Dados os objetivos deste trabalho, as variáveis a serem utilizadas na análise, bem como entradas/saídas do modelo DEA estão apresentadas na **Tabela .**

Tabela 4. Variáveis a serem consideradas para a análise e utilizadas como *Inputs/Outputs* do modelo DEA neste trabalho

VARIÁVEL	SIGLA	SIGNIFICADO	UNIDADE	INPUT	OUTPUT
x_1	OPEX	Custos operacionais anuais	R\$ (Milhões)	✓	
x_2	Σ FIC	Somatório da duração de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão	h (Milhões)	✓	
x_3	Σ DIC	Somatório da frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão	Milhões	✓	
x_4	FEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade	h/unidade	✓	

x_5	DEC	Consumidora Frequência equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora	Interrup/um	✓
y_1	NumC	Número de consumidores atendidos no ano	Milhões	✓
y_2	IASC	Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor	%	✓

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

O OPEX foi coletado a partir das DFAs (Demonstrações Financeiras Anuais) completas, enviadas pelas empresas a CVM (Comissão de Valores Mobiliários) e foram considerados os seguintes itens para a composição dos custos operacionais:

3.2. 1. Custos de operação

(I). Pessoal, administradores e previdência privada

(II). Serviços de terceiros

(III). Material

(IV). Outros custos

Assim, sobre os dados disponíveis nas DFAs, quando indicados e fazendo parte da composição dos custos de operação, foram subtraídos os valores discriminados como “Custos de construção” e “ Depreciação e amortização”, incluindo custos na desativação de bens, PCLD (Provisão para Créditos de Liquidação Duvidosa), provisões para riscos tributários, cíveis e trabalhistas, indenizações e etc.

Como visto na seção 0, os indicadores DEC e FEC são obtidos a partir do DIC e FIC, respectivamente, dividindo-os pelo número de consumidores em cada conjunto de distribuição. Uma vez que os dados disponibilizados são os valores de DEC e FEC e o número de consumidores em cada conjunto, será realizada a operação inversa para a obtenção dos valores dos somatórios de DIC e FIC em cada conjunto de distribuição, obtendo-se assim, valores absolutos.

Diferentemente do trabalho de Tschaffon e Meza (2014), neste trabalho será considerado apenas um número de consumidores, não incluindo o consumo total faturado, uma vez que existe grande correlação entre estes atributos (o consumo faturado é proporcional ao número de consumidores).

3.3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Para a realização desta pesquisa, serão adotados os procedimentos técnicos apresentados a seguir:

(A). Revisão da literatura, buscando examinar o estado da arte da avaliação de eficiência aplicada ao setor de distribuição de energia elétrica, mas também com vistas a avaliar o uso dos indicadores DEC e FEC, como descrito acima.

(B). Seleção das empresas de distribuição a serem avaliadas, de acordo com os critérios de seleção da população e amostra, conforme será mostrado na Seção 0.

(C). Coleta de dados, que consiste em obter os dados históricos dos valores das variáveis definidas como Inputs e Outputs do modelo DEA a ser utilizado neste trabalho. Serão utilizados os dados dos indicadores coletivos de continuidade das empresas de distribuição de energia elétrica selecionadas nos anos de 2006 a 2015 (10 últimos anos), dados financeiros anuais, extraídos dos relatórios entregues à CVM (Comissão de valores mobiliários) pelas distribuidoras e outros dados que porventura estejam disponíveis publicamente e possam ser considerados relevantes ao longo da pesquisa, sobretudo no website da ANEEL, da ABRADÉE (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica) e nos websites das empresas selecionadas.

(D). Seleção, tratamento e apresentação dos dados, que consiste em segmentar os dados selecionados como entradas e saídas para o modelo DEA dentro da base de dados coletada. Nesta etapa também são consideradas operações matemáticas para o tratamento dos dados bem como a elaboração de gráficos e tabelas que permitam a apresentação visual dos dados selecionados, se necessário.

(E). Avaliação dos indicadores DEC e FEC. Nesta etapa serão realizadas avaliações algébricas da modelagem DEA no estudo de caso proposto, mas avaliando se estes indicadores são coerentes com a metodologia DEA.

(F). Aplicação da metodologia DEA, modelo CRS orientado a Outputs. Para executar os cálculos, será utilizado o software Microsoft Excel, através da aplicação da ferramenta *Solver*, associado com rotinas em VBA (*Visual Basic for Applications*). Esta solução foi selecionada por possibilitar grande flexibilidade ao longo do estudo. Para os fins deste estudo os cálculos serão efetuados utilizando os valores de ΣDIC e ΣFIC das concessionárias escolhidas, sendo os índices de cada concessionária calculados para cada ano, de modo a ser possível visualizar as tendências de evolução.

(G). Tratamento e apresentação dos resultados, que consiste basicamente em estruturar os resultados obtidos em tabelas e/ou gráficos adequados com vistas a facilitar a análise crítica dos mesmos. Nesta etapa se espera obter os *scores* de cada concessionária para cada simulação, sendo as mesmas organizadas da mais eficiente para a menos eficiente. Nesta etapa também será utilizado o algoritmo *k-means* para segmentar as concessionárias em quatro grupos, sendo destacados o que é composto pelas concessionárias eficientes e adjacentes (mais próximas ao centróide de maior valor) e as ineficientes (mais próximas ao centróide de menor valor).

(H). Avaliação de resultados obtidos, que consiste em verificar a consistência e a relevância dos resultados encontrados e, sendo necessário, retornar-se-á ao tratamento dos dados ou mesmo à coleta de novos dados com vistas exaurir as possibilidades de resposta aos questionamentos propostos no escopo deste trabalho.

(I). Conclusões, que consiste em relatar as possíveis respostas aos questionamentos levantados, ou mesmo os motivos de, eventualmente, os objetivos não terem sido atingidos, ressaltando, contudo, as possíveis contribuições do trabalho para o tema, dentro da comunidade científica.

A figura 5 mostra graficamente o fluxo dos procedimentos técnicos que serão utilizados neste trabalho, bem como os recursos necessários em cada fase.

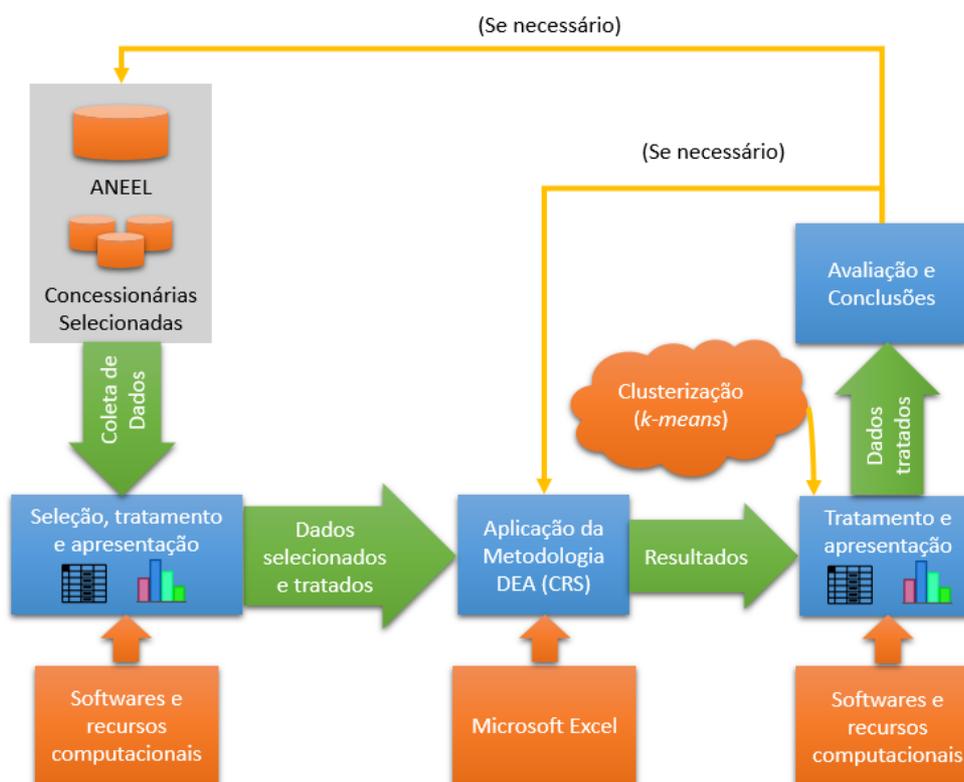


Figura 5. Fluxo de procedimentos técnicos e recursos necessários à execução do trabalho
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

3.4. POPULAÇÃO E AMOSTRA

Foram selecionadas concessionárias de distribuição de energia elétrica brasileiras que atenderam aos seguintes critérios, simultaneamente:

- (I). A empresa deve estar listada no Ranking da Continuidade apresentado pela ANEEL (2016d) para o ano de 2015, considerando o mercado de faturamento acima de 1TWh.
- (II). Os dados selecionados como Inputs e Outputs, de acordo com a **Tabela** estejam disponíveis em todos os anos do período de 2006 e 2015.
- (III). A empresa deve estar conectada ao SIN - Sistema Interligado Nacional.

4. ESTUDO PROPOSTO

Conforme descrito na Seção 0, foram selecionadas 24 concessionárias num total de 102 distribuidoras brasileiras que atenderam aos critérios para seleção da população e amostra apresentados. É importante salientar que este grupo selecionado é responsável pela distribuição de 85, 3% de toda a energia elétrica consumida no país (referente ao ano de 2015), sendo portanto, uma amostra significativa.

A **Tabela** apresenta essas concessionárias, bem como as respectivas regiões de atuação e as siglas que as representarão neste trabalho. Já a figura 6 apresenta graficamente a distribuição das empresas selecionadas ao longo dos estados brasileiros onde prestam seus serviços.

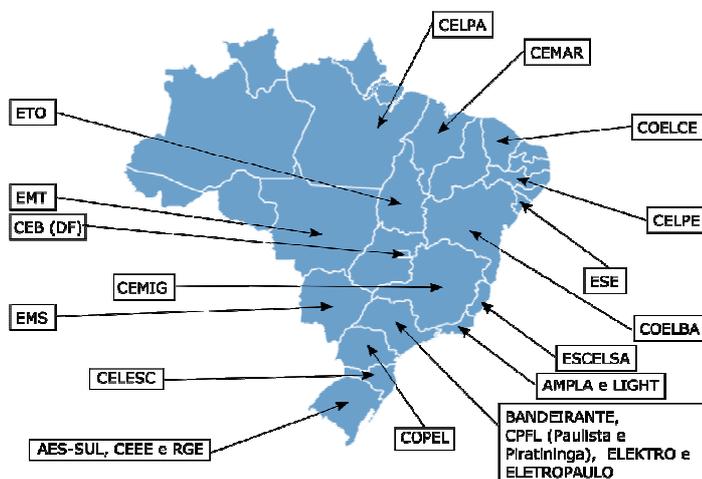


Figura 6. Empresas que atuam na distribuição de energia elétrica no Brasil no ano de 2015.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Os atributos selecionados na Seção 0 foram coletados para cada empresa e tratados conforme estipulado no Capítulo 0 podendo ser consultados no Anexo A. É importante salientar que o ano de 2011 teve de ser desconsiderado das análises, tendo em vista que o IASC (Índice Aneel de satisfação do consumidor) para aquele ano não foi validado e, portanto, está indisponível na agência, conforme nota da própria ANEEL

Tabela 5. Concessionárias selecionadas para a composição do banco de dados.

Concessionária	Região	Sigla
AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.	Sul	AES-SUL
Ampla Energia e Serviços S.A.	Sudeste	AMPLA
Bandeirante Energia S.A.	Sudeste	BANDEIRANTE
CEB Distribuição S.A.	Centro Oeste	CEB-DIS
Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica	Sul	CEEE
CELESC Distribuição S.A.	Sul	CELESC
Centrais Elétricas do Pará S.A.	Norte	CELPA
Companhia Energética de Pernambuco	Nordeste	CELPE
Companhia Energética do Maranhão	Nordeste	CEMAR
CEMIG Distribuição S.A.	Sudeste	CEMIG
Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	Nordeste	COELBA
Companhia Energética do Ceará	Nordeste	COELCE
COPEL Distribuição S.A.	Sul	COPEL-DIS
Companhia Energética do Rio Grande do Norte	Nordeste	COSERN
Companhia Paulista de Força e Luz	Sudeste	CPFL-Paulista
Companhia Piratininga de Força e Luz	Sudeste	CPFL-Piratininga
Elektro Eletricidade e Serviços S.A.	Sudeste	ELEKTRO
Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A	Sudeste	ELETROPAULO
Energisa Mato Grosso do Sul - Distribuidora de Energia S.A	Centro Oeste	EMS
Energisa Mato Grosso - Distribuidora de Energia S.A	Centro Oeste	EMT
Espírito Santo Centrais Elétricas S.A.	Sudeste	ESCELSA
Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S.A.	Nordeste	ESE
Light Serviços de Eletricidade S.A.	Sudeste	LIGHT
Rio Grande Energia S.A.	Sul	RGE

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

4.1. AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DEC E FEC

Considerando a modelagem DEA CRS apresentada na Seção 0, mais especificamente a Equação 5 e considerando as formas de cálculo dos indicadores DEC e FEC apresentados na **Tabela** , o problema de programação linear para a

avaliação da eficiência de uma determinada concessionária é apresentado na Equação 11, considerando como entradas o valor de OPEX (x_1), DEC (x_4) e FEC (x_5) e como saídas o Número de Consumidores (y_1) e IASC (y_2).

$$\max h_o = u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o}$$

Equação 11. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (1)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n (u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j}) - \sum_{j=1}^n (v_1 x_{1j} + v_2 x_{4j} + v_3 x_{5j}) \leq 0;$$

Equação 12. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (2)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$v_1 x_{1o} + v_2 x_{4o} + v_3 x_{5o} = 1;$$

Equação 13. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (3)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$u_r, v_r \geq 0$$

Equação 14. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (4)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A partir das variáveis consideradas, pode-se dizer que:

$$DEC = \frac{\sum DIC}{NumC} = \frac{x_2}{y_1};$$

Equação 15. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (5)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

E:

$$FEC = \frac{\sum FIC}{NumC} = \frac{x_3}{y_1};$$

Equação 16. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (6)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Assim, o problema mostrado na Equação 10 pode ser reescrito como mostrado na Equação 17.

$$\max h_o = u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o}$$

Equação 17. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (7)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n (u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j}) - \sum_{j=1}^n (v_1 x_{1j} + v_2 \frac{x_{2j}}{y_{1j}} + v_3 \frac{x_{3j}}{y_{1j}}) \leq 0;$$

Equação 18. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (8)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$v_1 x_{1o} + v_2 \frac{x_{2o}}{y_{1o}} + v_3 \frac{x_{3o}}{y_{1o}} = 1;$$

Equação 19. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (9)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

$$u_r, v_i \geq 0$$

Equação 20. Cálculo da Avaliação da Eficiência de uma Determinada Concessionária (10)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Assim, ao observar as restrições do problema apresentado na Equação **Erro!**
Fonte de referência não encontrada., percebe-se que o uso dos atributos DEC e FEC introduziu não linearidades no problema. Para mostrar os efeitos práticos deste

fato, foram realizadas duas simulações de cálculo da eficiência para a concessionária CEMIG, no ano de 2006, mas variando-se o número de consumidores (NumC) entre 30% e 100% dos consumidores no mesmo ano, sendo a primeira simulação do problema mostrado na Equação 15 e a segunda, substituindo-se os atributos DEC e FEC por Σ DIC e Σ FIC, respectivamente. O resultado gráfico destas simulações está mostrado na, onde se pode perceber que o comportamento da eficiência quando se considera os valores de DEC e FEC não é linear. Para facilitar este entendimento foram traçadas as linhas de tendência de cada simulação.

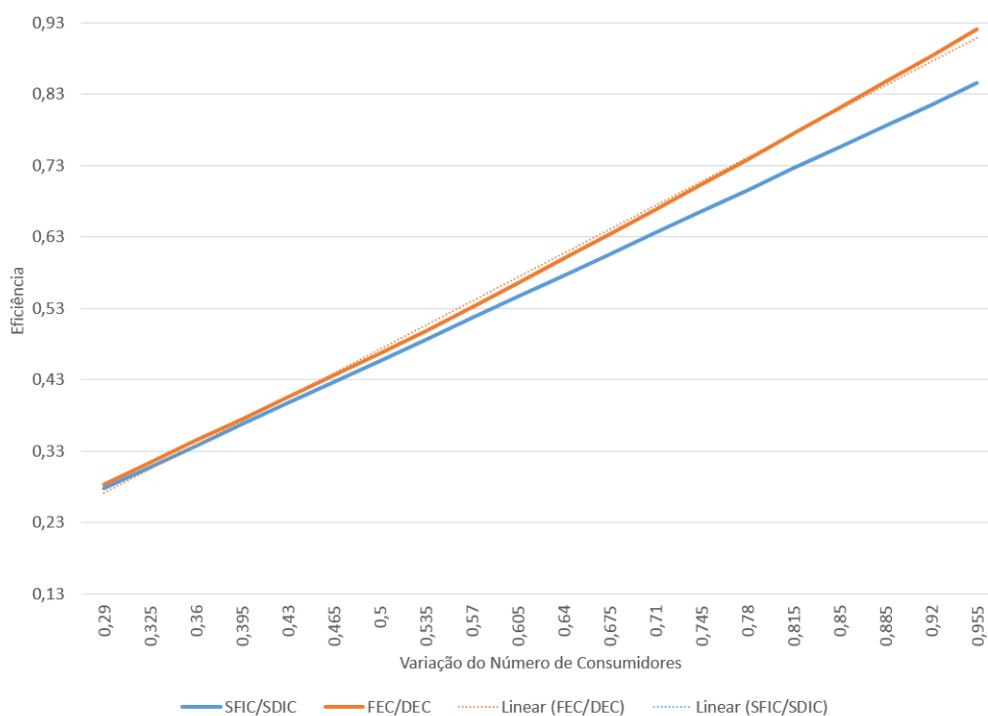


Gráfico 4. Simulação da variação da eficiência da concessionária CEMIG com os atributos DEC e FEC e Σ DIC e Σ FIC para o ano de 2006
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

4.2. EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA

Como descrito na metodologia, os dados coletados foram agrupados anualmente no MS Excel, de modo que o Solver pudesse ser utilizado para calcular as eficiências de cada concessionária dos anos de 2006 a 2015, considerando os

atributos indicados na **Tabela** e o modelo DEA CRS orientado a Outputs. É importante lembrar que esse processo de cálculo é feito para cada DMU (no caso, cada concessionária), de modo a obter o valor da eficiência de cada uma em relação às demais.

Tabela 6. Atributos utilizados para cada ano na simulação

Inputs	Outputs
x_1 (OPEX)	y_1 (NumC)
x_2 (Σ DIC)	y_2 (IASC)
x_3 (Σ FIC)	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Os índices de eficiência, ou scores, obtidos pela simulação para cada concessionária em cada ano são mostrados na **Tabela**, sendo destacados em verde as concessionárias consideradas eficientes.

É importante salientar que, como os pesos u_r e v_i , mostrados na Equação 2.4, são calculados para cada concessionária em cada ano, nem sempre será possível estabelecer uma correlação entre as variações das entradas e saídas utilizadas no modelo de um ano para o outro com as variações da eficiência calculada para cada ano. Isso ocorre porque as eficiências calculadas em cada ano para uma dada concessionária são relativas aos dados das demais concessionárias e, portanto, a eficiência de uma concessionária também é afetada pela variação dos atributos de entrada e/ou saída das demais.

Como proposto na metodologia, os scores de eficiência obtidos a cada ano foram submetidos ao algoritmo de clusterização *k-means*, para identificar 4 grupos distintos, de modo a se extrair desse resultado a identificação do grupo composto pelas concessionárias eficientes e aquelas que estariam mais próximas delas (cluster com centróide de maior valor) e o grupo das concessionárias ineficientes (cluster com centróide de menor valor). Na parte inferior da **Tabela** são exibidos os valores dos centróides de cada cluster encontrados em cada ano para o grupo das

concessionárias eficientes (ou próximos da eficiência) e para o grupo de concessionárias ineficientes, assim como a quantidade de concessionárias em cada grupo.

Tabela 7. Índices de eficiência calculados pelo Solver no MS-Excel, considerando os somatórios de DIC e FIC

Concessionária	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015
AES-SUL	0,692	0,653	0,563	0,634	0,583	0,579	0,728	0,542	0,542
AMPLA	0,645	0,635	0,580	0,552	0,397	0,456	0,467	0,435	0,325
BANDEIRANTE	1,000	0,984	0,845	0,970	0,734	0,701	0,911	0,915	0,860
CEB-DIS	0,730	0,724	0,623	0,817	0,641	0,441	0,555	0,688	0,656
CEEE	0,988	0,328	0,336	0,420	0,346	0,326	0,321	0,254	0,424
CELESC	0,496	0,465	0,504	0,621	0,500	0,358	0,467	0,458	0,494
CELPA	0,224	0,171	0,123	0,152	0,237	0,164	0,481	0,389	0,383
CELPE	0,703	0,775	0,774	0,954	0,678	1,000	0,814	0,474	0,530
CEMAR	0,678	1,000	1,000	1,000	0,894	0,448	0,624	1,000	1,000
CEMIG	0,854	0,883	0,796	0,854	0,770	0,600	0,731	0,751	0,733
COELBA	1,000	1,000	1,000	1,000	0,666	0,865	0,518	0,537	0,489
COELCE	0,752	0,735	0,799	1,000	0,904	0,915	0,894	0,899	0,632
COPEL-DIS	0,446	0,509	0,536	0,590	0,534	0,551	0,613	0,497	0,530
COSERN	0,972	1,000	1,000	1,000	0,971	0,753	0,636	0,535	0,661
CPFL-Paulista	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,872	1,000	1,000	0,934
CPFL-Piratininga	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ELEKTRO	0,825	0,894	0,880	0,914	0,894	0,794	0,917	0,855	0,917
ELETROPAULO	0,994	1,000	1,000	0,800	0,929	0,797	0,885	0,788	0,665
EMS	0,700	0,911	0,999	1,000	1,000	0,883	0,930	0,968	0,777
EMT	0,338	0,366	0,269	0,437	0,482	0,406	0,391	0,305	0,240
ESCELSA	0,942	0,845	0,863	0,950	0,840	0,664	0,808	0,765	0,909
ESE	1,000	1,000	1,000	1,000	0,883	0,845	1,000	0,857	1,000
LIGHT	0,891	0,895	0,822	0,897	0,876	0,668	0,686	0,636	0,668
RGE	0,722	0,843	0,865	0,923	1,000	1,000	1,000	0,995	1,000
Centroide Eficientes	0,988	0,964	0,915	0,977	0,932	0,896	0,948	0,943	0,952
Número Eficientes	9	12	16	13	12	10	9	9	8
Centroide Ineficientes	0,376	0,332	0,242	0,336	0,326	0,282	0,425	0,315	0,343
Número Ineficientes	4	4	3	3	3	3	5	3	4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados encontrados, as concessionárias foram agrupadas de acordo com a evolução da eficiência observada no período considerado. Para facilitar esta análise, foram elaborados gráficos para observar a evolução da eficiência das concessionárias ao longo do tempo.

Para realizar este agrupamento, foram adotados os seguintes passos e critérios:

- (1). Foi traçada uma linha de tendência para a evolução da eficiência de cada concessio-nária (equação do tipo $ax + b$).
- (2). Foram consideradas como **Emergentes** as concessionárias onde $a \geq 1, 0\%$.
- (3). Foram consideradas como **Estáveis** às concessionárias onde $-1, 0 < a < 1, 0\%$.
- (4). Foram consideradas como **Decadentes** as concessionárias onde $a \leq -1, 0\%$.

Tabela 8. Classificação das concessionárias pela evolução da eficiência

CLASSIFICAÇÃO	CONCESSIONÁRIAS	TOTAL
Emergentes	CELPA RGE	2 (8,3%)
Estáveis	CEMAR CELESC COELCE COPEL-DIS CPFL-PAULISTA CPFL-PIRATININGA ELEKTRO EMS EMT ESE	10 (41,7%)
Decadentes	AES-SUL AMPLA BANDEIRANTE CEB-DIS CEEE CELPE CEMIG	12 (50,0%)

COELBA
COSERN
ELETROPAULO
ESCELSA
LIGHT

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

No gráfico 5 pode ser observado as concessionárias CELPA e RGE, que apresentaram uma evolução positiva em suas eficiências relativas ao longo do período considerado. A CELPA aparece tendendo a sair da zona de ineficientes enquanto a RGE atinge a eficiência a partir do ano de 2010. É importante salientar que este resultado aponta que, observando a tendência do período considerado, apenas 8,3% das concessionárias observadas tendem a melhorar os seus índices de eficiência ao longo do tempo.

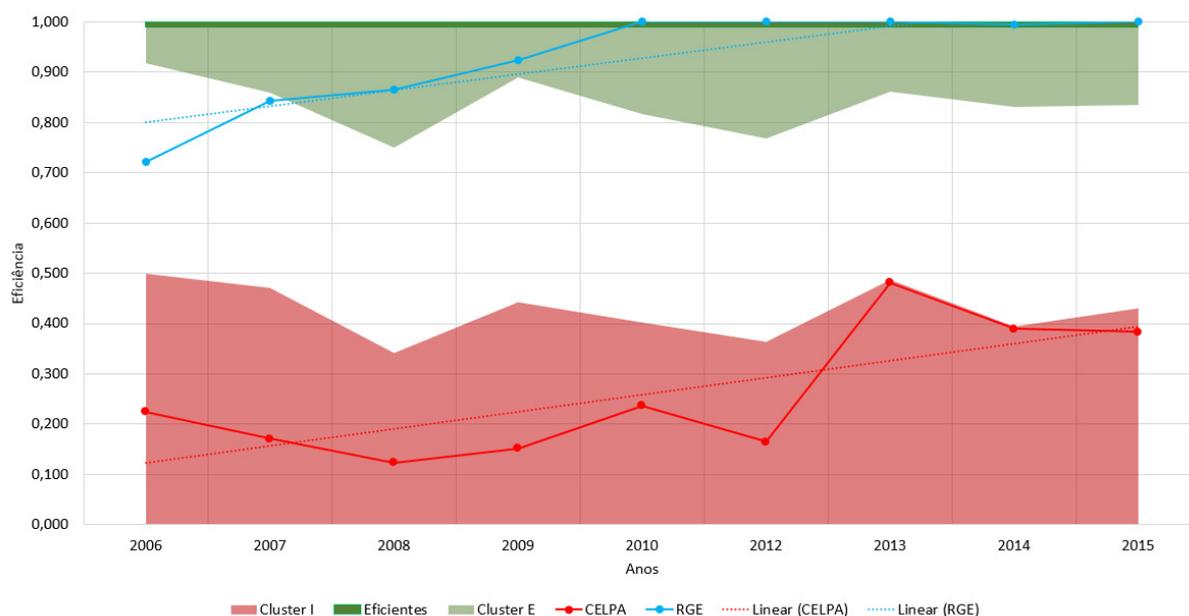


Gráfico 5. Concessionárias que registraram tendência a elevação nos índices de eficiência.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Por outro lado, 12 concessionárias, o que representa 50,0% das DMUs analisadas, apresentaram uma tendência de queda nos índices de eficiência. As concessionárias nesta situação foram: AES-SUL, AMPLA, BANDEIRANTE, CEB-DIS, CEEE, CELPE, CE-MIG, COELBA, COSERN, ELETROPAULO, ESCELSA e LIGHT. Deste conjunto, são destacadas no gráfico 6 as concessionárias AMPLA,

CEEE, COELBA e COSERN, que apresentaram a maior tendência de queda, sendo que a AMPLA inicia o período com um índice mais baixo e chega a entrar para o grupo das concessionárias ineficientes, enquanto que, CEEE, COELBA e COSERN saem de posições eficientes e possuem a tendência de entrar para o grupo das ineficientes, exceto no caso da CEEE que de maneira abrupta já atinge o grupo de ineficientes no segundo ano do período.

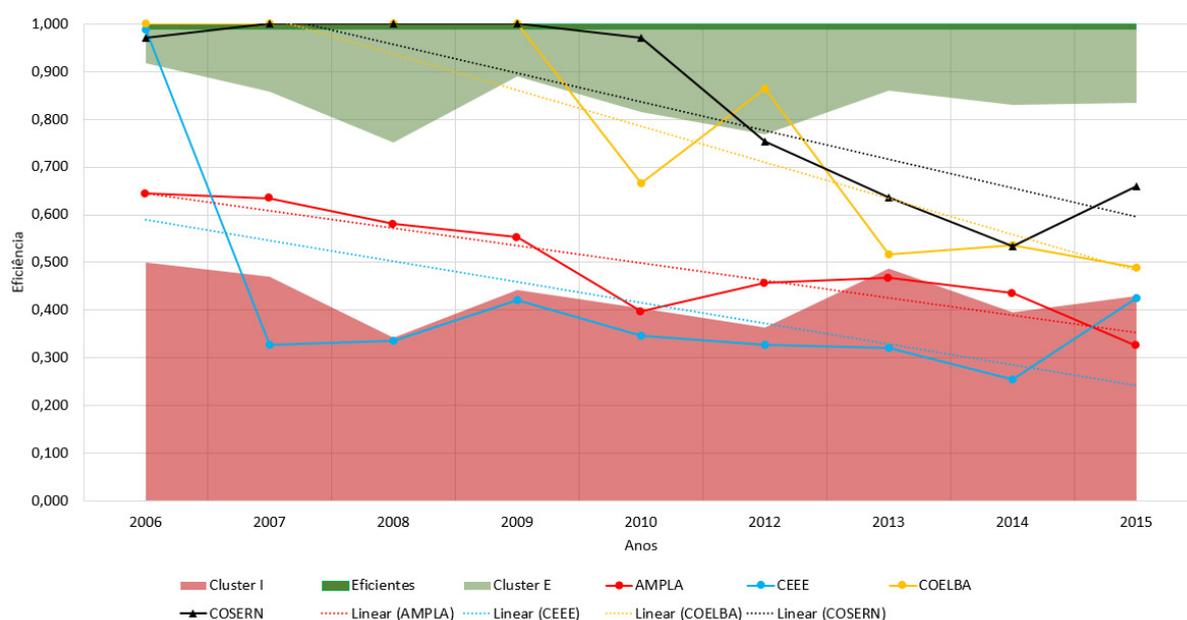


Gráfico 6. Concessionárias que registraram queda nos índices de eficiência
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Por fim, 10 concessionárias (41,7% das DMUs analisadas) apresentaram uma tendência à estabilidade em seus índices, a saber, CEMAR, CELESC, COELCE, COPEL-DIS, CPFL-PAULISTA, CPFL-PIRATININGA, ELEKTRO, EMS, EMT e ESE. Deste grupo, CEMAR, COELCE, CPFL-PAULISTA e ELEKTRO estão destacadas no gráfico 7 e apresentam a tendência de se manterem estáveis mais próximas da eficiência, enquanto que CELESC e EMT, de maneira oposta, tendem a se manter próximas da ineficiência.

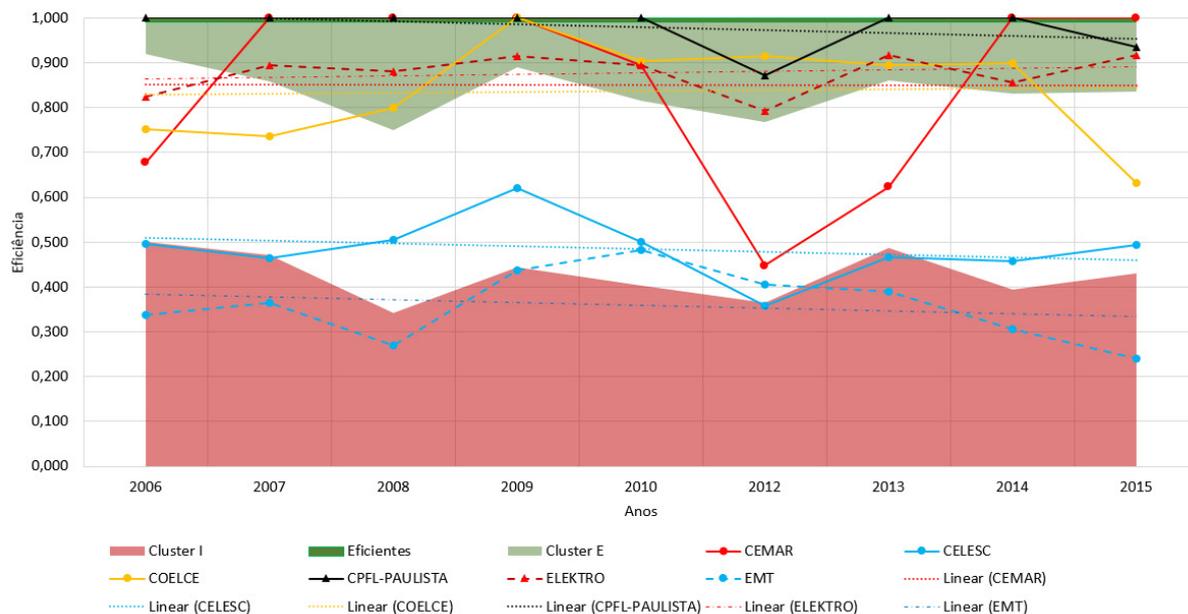


Gráfico 7. Concessionárias com estabilidade na evolução dos índices de eficiência
 Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).
 Ao observar o gráfico da

, nota-se uma situação pontual na concessionária CEMAR no ano de 2012. Como informado no início da Seção 4.2, nem sempre será possível estabelecer uma relação entre as variáveis de entrada e saída do modelo com as eficiências calculadas. No entanto, neste caso particular, observa-se que o OPEX da concessionária CEMAR sofreu um pico considerável em relação à tendência de evolução anual, como mostrado no gráfico 8, podendo ter este fator influenciado na redução da eficiência da empresa naquele ano.

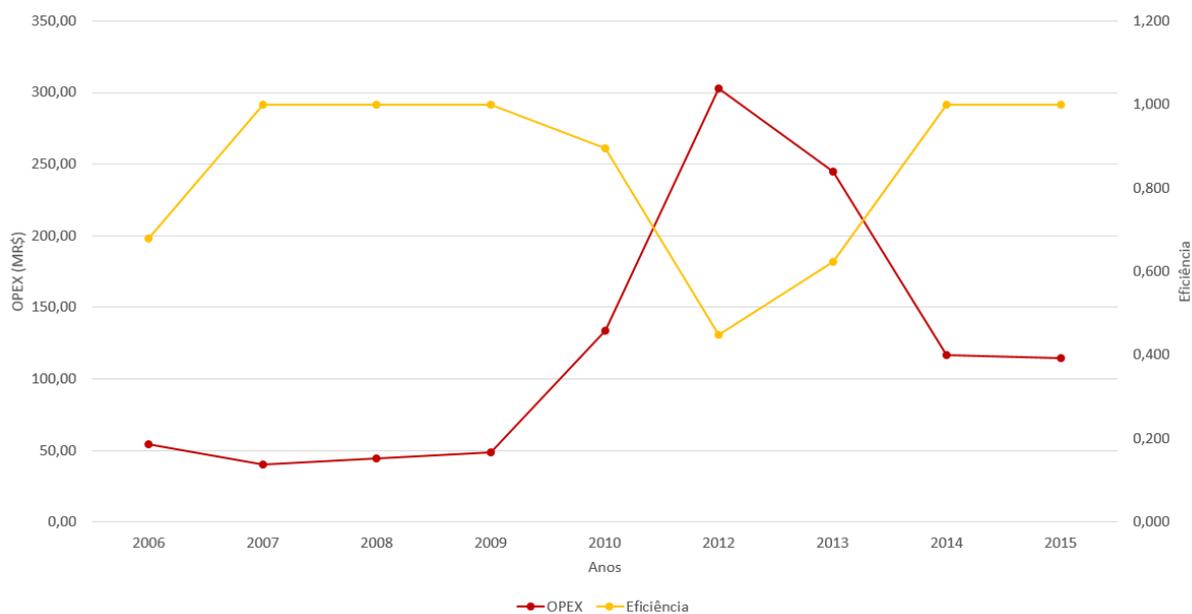


Gráfico 8. Comparação entre OPEX e Eficiência da concessionária CEMAR no período observado
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Logo, é possível observar, neste caso particular, que há uma correlação entre o OPEX e a Eficiência da CEMAR no gráfico 8, mas, a amplitude da eficiência seguramente foi influenciada também pelo resultado das demais concessionárias.

4.3. TESTE DAS HIPÓTESES

Assim, a partir dos resultados obtidos, são testadas as hipóteses levantadas para este estudo conforme indicado na Seção :

(I). Em relação ao uso dos indicadores coletivos absolutos Σ DIC e Σ FIC em comparação aos relativos (FEC e DEC), observou-se que o uso destes indicadores introduziu não linearidades no problema de programação linear para o cálculo da eficiência e, portanto, as eficiências calculadas apresentarão erros devido a essa não linearidade. Logo, pode ser observado que esta prática, neste caso específico, não é coerente e adequada à metodologia DEA.

(II). Uma vez confirmado o item acima, o uso dos indicadores absolutos ao invés dos relativos traz a certeza da linearidade para o modelo, garantindo o cálculo correto dos índices de eficiência.

Por fim, valida-se também a hipótese de que algumas empresas, dentro do período observado alcançaram a eficiência ao longo do tempo e outras possuem a tendência de ainda alcançarem esse patamar nos próximos anos, mostrando que essas concessionárias, de alguma maneira, têm sido influenciadas positivamente pelas exigências regulatórias do setor, correspondendo com a qualidade do serviço prestado em sua área de concessão.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1. ASPECTOS GERAIS

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a eficiência das concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil no período de 2006 a 2015, no que se refere à qualidade dos serviços de distribuição prestados.

A partir da base conceitual e as aplicações da metodologia DEA na avaliação da eficiência de empresas do setor elétrico examinadas na literatura existente, bem como as características do setor elétrico brasileiro, observadas no Capítulo 0, foi possível observar que os indicadores DEC e FEC são usados com frequência na obtenção dos índices de eficiência de concessionárias, mas por serem relativos, geram erros de cálculo nos scores calculados, devido à inserção de não linearidades, conforme também apontado na literatura existente sobre o tema.

No Capítulo 0, a Análise por Envoltória de Dados, ou DEA, emerge da literatura existente como uma ferramenta metodológica de avaliação da eficiência, sendo empregada em diversos países e instituições mundiais como um modelo a ser seguido e, portanto, sendo escolhida para atingir o objetivo deste trabalho, dentro dos procedimentos e métodos propostos. Aqui também foram definidos os critérios para seleção das concessionárias, o que resultou em um conjunto de 24 empresas, responsáveis pela distribuição de 85,3% da energia consumida no país no ano de 2015, como indicado no Capítulo 0.

A utilização do agrupamento por *k-means* para delinear zonas de eficiência e ineficiência trouxe uma forma interessante de apresentar os resultados, possibilitando observar melhor as tendências de evolução dos índices das concessionárias não somente com relação à fronteira da eficiência, mas sobretudo em relação à fronteira de ineficiência, delineada por um grupo de concessionárias com os menores índices relativos.

O uso dos indicadores indesejados ΣDIC e ΣFIC como entradas, embora sejam resultados, como apresentado em Tschaffon e Meza (2014), se apresentou como uma opção que simplificou o tratamento dos dados a serem usados no modelo DEA, mesmo não sendo muito intuitivo à primeira vista.

5.2. CONCLUSÕES

O Capítulo 0 apresentou os resultados da eficiência relativa de cada concessionária no período considerado, sendo possível avaliar a evolução de cada empresa e suas respectivas tendências. Conclui-se, a partir dos resultados obtidos, que essa abordagem pode ser de grande valia para a gestão das empresas observadas, tendo em vista que podem ser utilizados para desencadear ações de manutenção ou melhoria dos resultados de cada empresa, de modo a alterar as tendências de eficiência.

Uma importante conclusão e contribuição deste trabalho também pode ser observada no Capítulo 0, através da avaliação algébrica do uso dos atributos DEC e FEC na metodologia DEA. Mesmo sendo observado que tais atributos sejam largamente usados na literatura, como em Tanure, Tahan e Lima (2006), Tschaffon e Meza (2011), Pinheiro (2012), Tschaffon e Meza (2014) e Simab e Haghifam (2009), foi observado que estes atributos não são adequados por introduzirem não linearidades nos cálculos e, portanto, a proposta de utilização dos indicadores absolutos ΣDIC e ΣFIC trouxe uma nova maneira de abordar os resultados de uma forma, no mínimo, mais coerente com a metodologia DEA CRS.

Por fim, ao observar os resultados obtidos, percebe-se que há uma tendência predominante de redução na eficiência das distribuidoras de energia elétrica

brasileiras, tendo em vista que apenas 8,3% das concessionárias observadas apresentaram uma tendência positiva de evolução, enquanto que 50,0% tendem à ineficiência e as 41,7% restantes tendem à estabilidade. Tendo em vista a ordem de grandeza do SIN no âmbito mundial, este é um resultado preocupante, pois revela que numa escala geral, a eficiência da distribuição de energia elétrica no Brasil tende a cair, o que pode gerar transtornos à população em um curto espaço de tempo, bem como gerar impactos na economia devido à influência que este insumo pode ter sobre a atração de novos investimentos no país.

5.3. TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se um estudo das correlações cruzadas entre entradas e saídas, considerando os atributos utilizados neste trabalho e nos similares sobre a eficiência no setor elétrico à luz do trabalho de López, Ho e Ruiz-Torres (2016). Este estudo poderia avaliar quanto a correlação entre estes atributos influencia os resultados dos índices de eficiência calculados e é relevante pois, em alguns trabalhos como os de Tschaffon e Meza (2011), Pinheiro (2012) e Tschaffon e Meza (2014), o número de consumidores e o consumo faturado são utilizados conjuntamente como saídas do modelo e, por serem dados altamente correlacionados, tende-se a questionar até que ponto o uso destes atributos simultaneamente teria alguma influência nos resultados obtidos.

Outra possibilidade seria explorar a aplicação da metodologia apresentada neste trabalho fazendo uma avaliação cruzada de cada empresa individualmente (Cada ano seria uma DMU), observando a eficiência de cada ano de operação da empresa em relação aos demais anos, o que pode resultar em observações interessantes para auxiliar no aprimoramento dos processos de gestão da empresa.

Em uma outra abordagem, a metodologia apresentada poderia incorporar o volume de compensações pagas devido ao fato da concessionária ter ultrapassado os limites de interrupção. Esta seria uma boa alternativa à incorporação dos limites na metodologia, uma vez que os limites existentes são para os indicadores DEC e FEC que não são coerentes com a metodologia DEA utilizada neste trabalho.

Por fim, sugere-se também uma abordagem de avaliação comparativa à este trabalho, mas considerando o consumo faturado pelas concessionárias ao invés do número de consumidores atendidos, tendo em vista que um aumento ou diminuição do número de unidades consumidoras não depende diretamente das ações da concessionária, pelo menos da forma em que o sistema elétrico brasileiro é atualmente estruturado (consumidores cativos). Já uma abordagem que considere o consumo faturado, as interrupções e descontinuidades no fornecimento poderão influenciar de forma mais direta estes resultados e, portanto, representam parcialmente o impacto das ações das concessionárias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL, 2008). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 12 jan.2017.

_____. (ANEEL, 2014). **Indicador de Desempenho Global de Continuidade de 2014**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0007_2015_SRD_Ranking.pdf>. Acesso em: 12 jan.2017.

_____. (ANELL, 2016a). **Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>>. Acesso em: 9 jan 2016. Acesso em: 12 jan.2017.

_____. (ANELL, 2016b). **PRODIST : Módulo 8 : Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 9 jan 2016b. , 2016

_____. (ANELL, 2016c). **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição - Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média: Empresa, Classe de Consumo e Nível de Tensão**. Disponível em: <<https://goo.gl/Fu2lt0>>. Acesso em: 24 nov 2016c. , 2016

_____. (ANELL, 2016 d).. **Ranking da Continuidade**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-da-continuidade>>. Acesso em: 9 jan 2016d. , 28 Jan 2016

BANKER, R. D. e CHARNES, A. e COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.9.1078>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei n 8.987, de 13 de fevereiro de 1995**: dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços público previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987cons.htm>.

_____. **Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**: institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm>. Acesso em: 12 fev. 2017.

ÇELEN, Aydın. Efficiency and productivity (TFP) of the Turkish electricity distribution companies: an application of two-stage (DEA and amp; Tobit) analysis. **Energy Policy**, v. 63, p. 300–310, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03014215/63>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

CHARNES, A. e COOPER, W. W. e RODHES, E. Measuring the efficiency of decision make units. **European Journal of Operational Research**, n. 2, p. 429–444, 1978. Disponível em: <<https://www.utdallas.edu/~ryoung/phdseminar/CCR1978.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

EMROUZNEJAD, A. e AMIN, G. R. DEA models for ratio data: Convexity consideration. **Applied Mathematical Modelling**, v. 33, n. 1, p. 486–498, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X07003046>>. Acesso em: 12 dez 2016.

FEINBERG, Jonathan. **Wordle**: a toy for generating “word clouds” from text that you provide. Disponível em: <www.wordle.net>. Acesso em: 25 nov 2016.

GIANNAKIS, Dimitrios e JAMASB, Tooraj e POLLITT, Michael. Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the (UK) electricity distribution networks. **Energy Policy**, v. 33, n. 17, p. 2256–2271, 2005. Disponível em: <<https://nyuscholars.nyu.edu/en/publications/benchmarking-and-incentive-regulation-of-quality-of-service-an-ap>>. Acesso em: 25 nov 2016.

HOLLINGSWORTH, B. e SMITH, P. Use of ratios in data envelopment analysis. **Applied Economics Letters**, v. 10, n. 11, p. 733–735, 2003. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1350485032000133381>>. Acesso em: 24 nov 2016. , 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTISCA. **Tabela 1959**: domicílios particulares permanentes e Moradores em domicílios particulares permanentes, por classes de rendimento mensal domiciliar, situação do domicílio e iluminação elétrica: 2006 a 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/fUcbBL>>. Acesso em: 24 nov 2016. , 2016

INTERNATIONAL ENERGY STATISTICS (IES). **Total Electricity Installed Capacity 2014** Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=7>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

KHODABAKHSHI, Mohammad. An output oriented super-efficiency measure in stochastic data envelopment analysis: Considering Iranian electricity distribution companies. **Computers and Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 663–671, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220384484_An_output_oriented_super-efficiency_measure_in_stochastic_data_envelopment_analysis_Considering_Iranian_electricity_distribution_companies>. Acesso em: 12 nov. 2016.

KWOKA, J. e POLLITT, M. Do mergers improve efficiency? Evidence from restructuring the US electric power sector. **International Journal of Industrial Organization**, v. 28, n. 6, p. 645–656, 2010. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.616.6613&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

LINS, M. P. E. Integrating the regulatory and utility firm perspectives, when measuring the efficiency of electricity distribution. **European Journal of Operational Research**, v. 181, n. 3, p. 1413–1424, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706001895>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

LLOYD, Stuart P. Least squares quantization in PCM. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. IT-28, n. 2, p. 129–137, 1982. Disponível em: < <http://www-evasion.imag.fr/people/Franck.Hetroy/Teaching/ProjetsImage/2007/Bib/lloyd-1982.pdf> >. Acesso em: 12 nov. 2016.

LÓPEZ, Francisco J. e HO, Johnny C. e RUIZ-TORRES, Alex J. A computational analysis of the impact of correlation and data translation on DEA efficiency scores. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 3, p. 192–204, 2016. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21681015.2015.1136704>>. Acesso em: 10 dez 2016.

MACKAY, David J. C. **Information Theory, Inference, and Learning Algorithms**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. Disponível em: <<http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/itila/>>. Acesso em: 10 dez 2016.

NETHERLANDS ELECTRICITY REGULATORY SERVICE. **Choice of model and availability of data for the efficiency analysis of Dutch network and supply businesses in the electricity sector**. Disponível em: <<https://www.frontier-economics.com/documents/2014/06/efficiency-analysis-of-dutch-network-frontier-paper.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Dados relevantes: 2015**. Disponível em: <<https://goo.gl/hS0B5c>>. Acesso em: 31 out 2016.

PESSANHA, José Francisco Moreira e SOUZA, R. C. e LAURENCEL, L. d. C. **Usando DEA na avaliação da eficiência operacional das distribuidoras do setor elétrico brasileiro**. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/jfmpessoa/download/dea.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

PINHEIRO, Thelma Maria Melo. **Regulação por incentivo à qualidade: comparação de eficiência entre distribuidoras de energia elétrica no Brasil**. 2012.. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/trabalhos-academicos>>. Acesso em: 8 out 2016.

POMBO, Carlos; TABORDA, Rodrigo. Performance and efficiency in Colombia's power distribution system: Effects of the 1994 reform. **Energy Economics**, v. 28, n. 3, p. 339–369, maio, 2006. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v28y2006i3p339-369.html>>. Acesso em: 8 out 2016.

SADJADI, S. J. An interactive robust data envelopment analysis model for determining alternative targets in Iranian electricity distribution companies. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9830–9839, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411002533>>. Acesso em: 8 out 2016.

_____; OMRANI, H. Data envelopment analysis with uncertain data: An application for Iranian electricity distribution companies. **Energy Policy**, v. 36, n. 11, p. 4247–4254, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508004047>>. Acesso em: 12 dez 2016.

SIMAB, Mohsen; HAGHIFAM, Mahmood Reza. DEA efficiency for the benchmarking of Iranian electric distribution utilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 20, 2009, 8-11 jun, Praga. **Proceedings....** New York: IEEE, 2010. Disponível em: <http://www.cired.net/publications/cired2009/pdfs/CIRED2009_0118_Paper.pdf>. Acesso em: 13 out 2016..

_____; _____. Quality performance based regulation through designing reward and penalty scheme for electric distribution companies. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 43, n. 1, p. 539–545, dez, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014206151200333X>>. Acesso em: 13 out 2016.

TANURE, J.E.P.S. e TAHAN, C.M.V; LIMA, J.W. M. Establishing quality performance of distribution companies based on yardstick regulation. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 21, n. 3, p. 1148–1153, ago, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1664949/>>. Acesso em: 13 out 2016.

TSCHAFFON, Pamela; MEZA, Lidia Angulo. Assessing the efficiency of the electric energy distribution using data envelopment analysis with undesirable outputs. **IEEE Latin America Transactions**, v. 12, n. 6, p. 1027–1035, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6893996/>>. Acesso em: 13 out 2016.

_____; _____. Um estudo de outputs indesejáveis em DEA com aplicação no setor de distribuição de energia elétrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 43, 2011, 15-18 ago, Ubatuba-SP. **Anais...** Ubatuba-SP: SBPO, 2012. Disponível em: <<http://din.uem.br/sbpo/sbpo2011/pdf/88057.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2017.

YANG, C; LU, W. Assessing the performance and finding the benchmarks of the electricity distribution districts of Taiwan power company. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 21, n. 2, p. 853–861, 2006. Disponível em: <<http://deazone.com/en/yang-c-and-w-m-lu-2006-assessing-the-performance-and-finding-the-benchmarks-of-the-electricity-distribution-districts-of-taiwan-power-company-ieee-transactions-on-power-systems-212-853-861>>. Acesso em: 15 dez 2017.

YU, W; JAMASB, T. e POLLITT, M. Does weather explain cost and quality performance? An analysis of UK electricity distribution companies. **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4177–4188, 2009. Disponível em: <http://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v_3a37_3ay_3a2009_3ai_3a11_3ap_3a4177-4188.htm>. Acesso em: 15 dez 2017.

ANEXO A – DADOS ANUAIS COLETADOS E CONSOLIDADOS

A seguir são apresentadas tabelas com os valores dos atributos considerados para as análises executadas neste trabalho. Conforme apresentado no texto do trabalho, o ano de 2011 não foi considerado, pois a pesquisa da ANEEL para a geração do índice IASC neste ano não foi validada.

A descrição das colunas está indicada a seguir:

- (I). DMU** - *Decision Make Unit* - Identificação da unidade avaliada.
- (II). OPEX** - Custos operacionais em Milhões de Reais.
- (III). ΣDIC** - Somatório dos tempos das durações individuais anuais de interrupções em todos os consumidores da concessionária em milhões de horas.
- (IV). DEC** - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (Horas/unidade consumidora).
- (V). ΣFIC** - Somatório do número de interrupções em todos os consumidores da concessionária em milhões de vezes.
- (VI). FEC** - Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora (Número/unidade consumidora).
- (VII). NCONS** - Número de Consumidores (em milhões).
- (VIII). IASC** - Índice ANEEL de satisfação do consumidor (em %)

Tabela 9. Dados coletados e consolidados para o ano de 2006

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	70,5	18,19	17,31	11,98	11,40	1,05	65,55
AMPLA	166,1	38,55	16,48	26,95	11,52	2,34	57,90
BANDEIRANTE	132,9	12,96	8,82	8,10	5,51	1,47	62,32
CEB-DIS	152,4	9,74	13,34	8,45	11,58	0,73	61,42
CEEE	44,5	35,72	26,46	22,86	16,93	1,35	67,49
CELESC	252,3	31,23	15,23	24,97	12,18	2,05	58,60
CELPA	306,7	53,80	41,70	45,14	34,99	1,29	50,27
CELPE	173,3	41,35	15,84	24,49	9,38	2,61	61,46
CEMAR	54,2	52,38	42,24	30,32	24,45	1,24	45,67
CEMIG	1285,3	78,82	13,03	38,88	6,43	6,05	68,03
COELBA	99,0	59,13	14,82	30,99	7,77	3,99	57,37
COELCE	178,1	27,58	11,44	21,99	9,13	2,41	58,46
COPEL-DIS	1003,2	49,19	14,77	45,42	13,64	3,33	69,96
COSERN	43,0	11,04	12,54	7,37	8,37	0,88	61,42
CPFL-Paulista	212,6	21,71	6,60	18,08	5,50	3,29	66,55
CPFL-Piratininga	85,8	8,64	6,75	7,25	5,67	1,28	63,61
ELEKTRO	155,7	19,43	10,17	12,88	6,74	1,91	63,60
ELETROPAULO	584,3	44,00	7,87	30,88	5,52	5,59	62,76
EMS	144,0	9,24	13,59	7,12	10,48	0,68	55,43
EMT	165,3	20,62	25,78	21,10	26,37	0,80	57,95
ESCELSA	132,9	8,71	8,30	6,65	6,34	1,05	60,27
ESE	24,8	6,82	13,92	4,37	8,93	0,49	65,03
LIGHT	263,8	30,13	7,99	23,77	6,31	3,77	66,97
RGE	54,4	22,03	19,85	13,67	12,32	1,11	66,74

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 10. Dados coletados e consolidados para o ano de 2007

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	85,8	22,18	20,57	12,38	11,48	1,08	69,83
AMPLA	175,7	35,19	14,48	25,56	10,52	2,43	60,94
BANDEIRANTE	144,2	14,33	9,49	8,85	5,86	1,51	66,69
CEB-DIS	74,7	11,19	14,72	12,10	15,92	0,76	63,13
CEEE	227,5	35,36	25,81	25,55	18,65	1,37	71,77
CELESC	264,6	34,76	16,39	26,38	12,44	2,12	72,25
CELPA	355,3	77,48	56,97	62,15	45,70	1,36	56,93
CELPE	161,9	41,13	15,12	22,61	8,31	2,72	61,67
CEMAR	40,0	37,12	28,55	25,69	19,76	1,30	50,53
CEMIG	1198,4	82,52	13,14	40,18	6,40	6,28	71,63
COELBA	91,0	58,36	13,96	32,76	7,84	4,18	57,60
COELCE	207,1	24,20	9,42	20,26	7,88	2,57	70,89
COPEL-DIS	1029,5	46,05	13,54	42,20	12,41	3,40	70,87
COSERN	43,3	12,42	13,07	8,81	9,27	0,95	71,37
CPFL-Paulista	188,2	23,18	6,98	19,51	5,88	3,32	62,85
CPFL-Piratininga	75,2	9,03	6,89	7,57	5,78	1,31	70,63
ELEKTRO	157,1	18,47	9,38	12,64	6,42	1,97	73,24
ELETROPAULO	472,7	50,14	8,91	31,81	5,65	5,63	63,60
EMS	172,0	9,30	13,09	6,57	9,25	0,71	61,47
EMT	192,2	23,30	27,42	21,00	24,71	0,85	66,69
ESCELSA	126,9	12,45	11,53	8,27	7,65	1,08	67,31
ESE	35,6	8,11	15,60	5,83	11,20	0,52	62,79
LIGHT	296,9	34,77	9,08	24,46	6,39	3,83	66,88
RGE	54,7	19,38	17,00	12,40	10,87	1,14	70,75

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 11. Dados coletados e consolidados para o ano de 2008

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	96,3	21,62	19,51	13,71	12,37	1,11	67,77
AMPLA	238,8	35,87	13,23	27,30	10,07	2,71	57,58
BANDEIRANTE	133,9	17,74	11,37	9,84	6,31	1,56	67,22
CEB-DIS	227,1	12,76	16,15	13,46	17,04	0,79	61,14
CEEE	225,4	34,30	24,50	23,12	16,52	1,40	61,65
CELESC	294,3	31,50	14,38	23,07	10,53	2,19	63,71
CELPA	512,5	111,30	76,76	72,65	50,11	1,45	42,03
CELPE	159,1	43,28	15,24	22,29	7,85	2,84	65,30
CEMAR	44,8	41,28	27,16	25,44	16,74	1,52	48,08
CEMIG	1364,4	88,34	13,65	42,27	6,53	6,47	69,68
COELBA	107,5	60,99	14,02	30,52	7,02	4,35	71,35
COELCE	235,6	22,73	8,17	18,83	6,77	2,78	59,25
COPEL-DIS	1243,6	42,63	12,18	37,40	10,69	3,50	65,50
COSERN	42,8	13,67	13,80	8,18	8,26	0,99	70,74
CPFL-Paulista	182,7	23,57	6,85	20,22	5,88	3,44	73,76
CPFL-Piratinga	76,4	8,65	6,55	7,09	5,37	1,32	66,52
ELEKTRO	269,7	17,35	8,51	12,26	6,01	2,04	72,67
ELETROPAULO	451,4	52,94	9,21	29,92	5,20	5,75	69,01
EMS	136,8	8,78	12,03	5,72	7,83	0,73	53,61
EMT	219,1	25,26	27,76	21,57	23,71	0,91	51,77
ESCELSA	222,4	11,98	10,70	7,78	6,95	1,12	63,06
ESE	41,3	12,08	21,96	6,99	12,70	0,55	63,54
LIGHT	256,1	43,09	11,05	26,28	6,74	3,90	56,20
RGE	53,4	18,10	15,47	11,35	9,70	1,17	65,97

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 12. Dados coletados e consolidados para o ano de 2009

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	111,2	23,57	20,78	13,49	11,90	1,13	69,38
AMPLA	265,8	55,03	19,45	33,69	11,91	2,83	64,03
BANDEIRANTE	139,7	20,53	12,75	10,35	6,43	1,61	69,67
CEB-DIS	228,2	13,38	16,32	12,52	15,27	0,82	70,33
CEEE	277,4	38,11	27,03	21,43	15,20	1,41	69,43
CELESC	376,6	30,60	13,54	22,08	9,77	2,26	75,98
CELPA	423,0	128,09	83,17	74,31	48,25	1,54	50,89
CELPE	151,5	49,17	16,61	20,73	7,00	2,96	64,25
CEMAR	48,6	40,52	23,42	26,10	15,09	1,73	68,91
CEMIG	1326,5	92,89	14,10	44,53	6,76	6,59	68,14
COELBA	112,7	67,69	14,98	33,76	7,47	4,52	67,44
COELCE	209,7	22,47	7,67	17,30	5,90	2,93	82,57
COPEL-DIS	1481,6	46,16	12,89	39,45	11,02	3,58	69,89
COSERN	38,5	14,77	14,20	8,20	7,88	1,04	66,09
CPFL-Paulista	270,4	26,83	7,62	20,31	5,77	3,52	68,15
CPFL-Piratinga	97,5	14,96	11,00	8,71	6,40	1,36	69,08
ELEKTRO	311,7	23,15	11,08	13,78	6,59	2,09	70,21
ELETROPAULO	607,6	95,07	16,11	42,51	7,21	5,90	69,60
EMS	130,0	9,49	12,33	6,99	9,08	0,77	61,09
EMT	173,6	28,31	29,19	22,11	22,79	0,97	65,60
ESCELSA	266,1	13,51	11,55	8,13	6,94	1,17	60,97
ESE	41,1	9,68	16,70	6,53	11,27	0,58	55,58
LIGHT	248,9	54,92	14,05	27,89	7,13	3,91	64,22
RGE	55,0	17,42	14,40	10,63	8,79	1,21	71,12

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 13. Dados coletados e consolidados para o ano de 2010

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	228,7	21,02	18,03	11,77	10,09	1,17	68,56
AMPLA	479,3	61,08	23,95	32,54	12,76	2,55	55,64
BANDEIRANTE	163,1	18,06	12,20	10,49	7,09	1,48	67,45
CEB-DIS	385,5	12,81	14,72	12,80	14,71	0,87	62,00
CEEE	342,9	31,83	21,65	22,10	15,04	1,47	64,84
CELESC	812,6	31,25	13,53	23,61	10,22	2,31	69,07
CELPA	455,3	174,33	101,95	90,75	53,07	1,71	46,25
CELPE	405,1	54,40	18,19	22,29	7,45	2,99	63,38
CEMAR	220,6	40,61	21,37	26,16	13,77	1,90	50,84
CEMIG	1416,5	90,38	12,99	45,58	6,55	6,96	70,25
COELBA	433,9	123,57	26,57	51,87	11,15	4,65	58,08
COELCE	334,7	21,17	7,53	15,76	5,61	2,81	67,62
COPEL-DIS	1069,1	42,42	11,47	34,99	9,46	3,70	62,22
COSERN	123,6	13,93	12,66	7,65	6,96	1,10	73,36
CPFL-Paulista	223,6	20,32	5,66	18,13	5,05	3,59	66,92
CPFL-Piratinga	90,9	9,58	6,89	7,27	5,23	1,39	67,96
ELEKTRO	311,1	20,30	9,49	12,30	5,75	2,14	72,16
ELETROPAULO	1460,6	65,81	10,60	33,71	5,43	6,21	61,16
EMS	132,6	8,13	10,29	5,69	7,20	0,79	62,01
EMT	136,5	28,85	28,57	22,04	21,83	1,01	49,86
ESCELSA	165,4	11,11	9,18	7,71	6,37	1,21	61,33
ESE	110,6	13,80	23,79	7,06	12,18	0,58	61,14
LIGHT	595,4	44,98	11,33	22,86	5,76	3,97	67,55
RGE	82,6	18,30	14,76	12,01	9,69	1,24	69,25

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 14. Dados coletados e consolidados para o ano de 2012

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	263,8	17,26	14,11	10,29	8,41	1,22	61,00
AMPLA	462,3	47,46	17,58	25,01	9,26	2,70	54,85
BANDEIRANTE	180,2	14,83	9,44	9,49	6,04	1,57	59,34
CEB-DIS	366,4	17,89	20,11	15,96	17,93	0,89	60,54
CEEE	339,6	29,37	19,32	19,66	12,93	1,52	60,30
CELESC	1137,3	40,53	16,48	29,00	11,79	2,46	62,17
CELPA	572,0	189,95	101,58	95,14	50,88	1,87	39,89
CELPE	146,3	60,48	19,32	25,22	8,06	3,13	61,74
CEMAR	91,0	47,39	21,64	23,89	10,91	2,19	54,06
CEMIG	1378,3	107,23	14,75	51,25	7,05	7,27	64,51
COELBA	281,2	98,23	19,97	43,60	8,86	4,92	62,95
COELCE	403,5	23,95	8,06	13,73	4,62	2,97	58,52
COPEL-DIS	2145,2	40,88	10,25	31,29	7,84	3,99	65,44
COSERN	178,0	16,98	14,51	9,27	7,93	1,17	71,44
CPFL-Paulista	277,1	28,27	7,48	20,30	5,37	3,78	61,59
CPFL-Piratinga	95,9	8,32	5,66	6,23	4,24	1,47	63,75
ELEKTRO	341,2	22,39	9,82	12,17	5,34	2,28	67,88
ELETROPAULO	1557,4	62,95	9,66	34,59	5,31	6,52	64,65
EMS	164,2	10,89	12,66	6,91	8,04	0,86	62,50
EMT	190,1	38,20	33,81	27,41	24,26	1,13	57,54
ESCELSA	177,0	12,92	9,86	8,33	6,36	1,31	55,34
ESE	153,5	10,04	15,69	7,43	11,62	0,64	64,30
LIGHT	346,1	71,81	18,13	33,21	8,39	3,96	51,57
RGE	85,9	18,91	14,33	11,54	8,74	1,32	65,13

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 15. Dados coletados e consolidados para o ano de 2013

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	273,5	17,64	14,08	9,25	7,38	1,25	67,33
AMPLA	467,3	55,63	20,08	27,11	9,79	2,77	52,62
BANDEIRANTE	194,9	13,26	8,08	9,04	5,51	1,64	60,04
CEB-DIS	389,2	16,37	17,79	14,51	15,77	0,92	58,93
CEEE	463,9	35,71	23,19	24,30	15,78	1,54	66,19
CELESC	921,5	39,38	15,50	27,00	10,63	2,54	62,10
CELPA	261,5	144,67	73,43	74,87	38,01	1,97	46,73
CELPE	246,5	73,12	23,74	27,29	8,86	3,08	53,90
CEMAR	110,4	43,67	18,82	25,20	10,86	2,32	60,54
CEMIG	1397,4	93,58	12,48	46,92	6,26	7,50	61,98
COELBA	872,5	113,19	22,50	44,46	8,84	5,03	54,52
COELCE	415,5	28,19	9,12	15,83	5,12	3,09	72,33
COPEL-DIS	2110,1	48,17	11,64	33,40	8,07	4,14	61,97
COSERN	190,8	16,73	13,71	10,55	8,64	1,22	66,35
CPFL-Paulista	272,5	27,79	7,15	18,40	4,73	3,89	58,26
CPFL-Piratininga	102,2	11,27	7,42	6,94	4,56	1,52	65,68
ELEKTRO	348,2	19,90	8,47	11,73	4,99	2,35	55,91
ELETROPAULO	1519,1	63,56	9,63	34,15	5,17	6,60	61,75
EMS	179,3	10,47	11,77	6,68	7,51	0,89	65,30
EMT	230,9	35,94	30,20	28,02	23,55	1,19	61,83
ESCELSA	202,2	13,25	9,74	8,20	6,03	1,36	64,14
ESE	142,0	9,70	14,70	6,15	9,32	0,66	69,56
LIGHT	388,8	75,01	18,71	33,71	8,41	4,01	54,73
RGE	86,2	23,46	17,38	12,22	9,05	1,35	68,53

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 16. Dados coletados e consolidados para o ano de 2015

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	323,5	22,75	17,75	11,37	8,88	1,28	66,09
AMPLA	506,5	54,82	21,75	24,26	9,63	2,52	60,75
BANDEIRANTE	338,9	12,94	7,61	9,07	5,33	1,70	68,59
CEB-DIS	420,1	15,08	15,70	11,33	11,81	0,96	66,80
CEEE	481,4	43,25	27,37	27,82	17,60	1,58	63,51
CELESC	806,7	39,79	15,13	27,46	10,44	2,63	74,58
CELPA	275,5	102,50	49,04	62,72	30,01	2,09	47,49
CELPE	608,6	80,77	25,48	27,99	8,83	3,17	57,36
CEMAR	117,0	38,85	16,96	25,16	10,99	2,29	64,24
CEMIG	1475,2	83,81	10,77	43,43	5,58	7,78	68,75
COELBA	880,5	119,04	22,72	40,91	7,81	5,24	67,73
COELCE	444,3	29,46	9,32	14,76	4,67	3,16	70,72
COPEL-DIS	2145,8	59,47	13,99	37,88	8,91	4,25	75,24
COSERN	206,8	21,04	16,57	11,57	9,11	1,27	66,27
CPFL-Paulista	312,5	27,88	6,94	19,65	4,89	4,02	72,23
CPFL-Piratinga	113,3	10,96	6,98	6,59	4,20	1,57	70,57
ELEKTRO	424,8	20,07	8,29	11,87	4,91	2,42	73,23
ELETROPAULO	1511,1	91,25	13,36	36,33	5,32	6,83	65,45
EMS	406,9	11,72	12,88	6,61	7,26	0,91	68,50
EMT	522,3	34,80	28,06	25,62	20,66	1,24	68,29
ESCELSA	212,7	14,53	10,38	9,04	6,45	1,40	71,61
ESE	151,8	10,74	15,79	6,41	9,43	0,68	58,84
LIGHT	472,1	50,67	12,36	27,06	6,60	4,10	65,49
RGE	112,8	26,12	18,79	12,72	9,15	1,39	69,85

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Tabela 17. Dados coletados e consolidados para o ano de 2015

Sigla	OPEX	ΣDIC	DEC	ΣFIC	FEC	NCONS	IASC
AES-SUL	371,9	24,83	19,11	10,93	8,42	1,30	51,72
AMPLA	662,6	71,11	27,78	33,89	13,24	2,56	50,62
BANDEIRANTE	257,7	14,76	8,44	8,92	5,09	1,75	52,75
CEB-DIS	374,8	15,43	15,58	11,58	11,70	0,99	58,31
CEEE	435,0	27,48	17,07	18,83	11,69	1,61	52,97
CELESC	885,9	39,96	14,69	27,65	10,17	2,72	59,11
CELPA	303,4	81,75	37,85	48,27	22,35	2,16	38,05
CELPE	736,6	63,28	19,29	26,62	8,12	3,28	57,43
CEMAR	114,2	34,06	15,27	19,96	8,95	2,23	56,98
CEMIG	1457,8	93,16	11,54	47,45	5,88	8,07	66,71
COELBA	1104,8	133,62	24,79	47,53	8,82	5,39	55,47
COELCE	483,0	40,39	12,24	22,45	6,80	3,30	52,24
COPEL-DIS	2445,5	59,69	13,66	36,39	8,33	4,37	60,26
COSERN	227,1	19,35	14,77	9,87	7,53	1,31	59,36
CPFL-Paulista	368,5	32,03	7,76	20,19	4,89	4,13	60,75
CPFL-Piratinga	129,5	11,69	7,26	6,95	4,31	1,61	58,62
ELEKTRO	416,0	21,09	8,51	11,65	4,70	2,48	57,00
ELETROPAULO	1919,4	157,94	23,61	43,35	6,48	6,69	54,42
EMS	371,0	13,16	13,85	6,76	7,12	0,95	50,29
EMT	571,9	38,99	30,22	31,10	24,11	1,29	44,80
ESCELSA	223,0	13,14	9,06	7,37	5,08	1,45	58,81
ESE	158,7	9,50	13,38	5,50	7,75	0,71	58,81
LIGHT	513,3	52,81	12,60	26,99	6,44	4,19	49,81
RGE	128,3	22,65	15,95	11,82	8,32	1,42	66,32

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)