



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração

DANIEL VAZ DE MELO LAVARINI

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O IMPACTO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA ANÁLISE
DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE REDES DE
EMPRESAS BRASILEIRAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM
ESTUDO DE CASO NA COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG D**

Belo Horizonte, Maio de 2016

Daniel Vaz de Melo Lavarini

INVESTIGAÇÃO SOBRE O IMPACTO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE REDES DE EMPRESAS BRASILEIRAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO NA COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG D

Dissertação de Mestrado apresentado ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Mercadologia, Administração Estratégica e Operações.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Lúcia Miranda Lopes

Maio de 2016

Ficha catalográfica

L397i
2016 Lavarini, Daniel Vaz de Melo.
Investigação sobre o impacto das variáveis ambientais na análise de eficiência operacional dos custos de manutenção de redes de empresas brasileiras de distribuição de energia elétrica [manuscrito] : um estudo de caso na Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG D / Daniel Vaz de Melo Lavarini. –2016.

89 p.: il., gráfs. e tabs.

Orientadora: Ana Lúcia Miranda Lopes.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.

Inclui bibliografia (p. 81-84) e apêndices.

1. Companhia Energética de Minas Gerais – Custo operacional – Teses. 2. Energia elétrica – Brasil – Custos – Teses. 3. Administração financeira – Teses. I. Lopes, Ana Lúcia Miranda. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração. III. Título.

CDD: 658.15

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG. – NMM/098/2016



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO do Senhor **DANIEL VAZ DE MELO LAVARINI**, REGISTRO Nº 592/2016. No dia 24 de maio de 2016, às 14:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 29 de abril de 2016, para julgar o trabalho final intitulado "**Investigação sobre o impacto das variáveis ambientais na análise de eficiência operacional dos custos de manutenção de redes de empresas brasileiras de distribuição de energia elétrica: um estudo de caso na Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG D**", requisito para a obtenção do **Grau de Mestre em Administração**, linha de pesquisa: **Mercadologia, Administração Estratégica e Operações**. Abrindo a sessão, a Senhora Presidente da Comissão, Profa. Dr. Ana Lúcia Miranda Lopes, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVAÇÃO;

() APROVAÇÃO CONDICIONADA A SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS CONSTANTES NO VERSO DESTA FOLHA, NO PRAZO FIXADO PELA BANCA EXAMINADORA (NÃO SUPERIOR A 90 NOVENTA DIAS);

() REPROVAÇÃO.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pela Senhora Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a Senhora Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 24 de maio de 2016.

NOMES

ASSINATURAS

Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Miranda Lopes
ORIENTADORA (CEPEAD/UFMG)

Prof. Dr. Aureliano Angel Bressan
(CEPEAD/UFMG)

Prof. Dr. Marcelo Azevedo Costa
(Depto. de Engenharia de Produção/UFMG)

Prof. Dr. Edgar Augusto Lanzer
(Sociedade Educacional de Santa Catarina)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Ana Lúcia Lopes minha orientadora, que contribuiu para meu aprendizado na graduação e que agora, em meu mestrado, ainda colabora para meu desenvolver.

Agradeço ao Eugênio Arantes, Maura Galuppo, Angélica Baptista e ao Giordano Matos à por colaborarem com o desenvolver dos questionários dessa pesquisa dentro da CEMIG.

Agradeço aos professores Marcelo Azevedo Costa e Aureliano Bressan por contribuírem ampliando meu entendimento para desenvolver esse trabalho.

À UFMG, instituição da qual tenho orgulho de participar, que tanto contribuiu para meu desenvolvimento e crescimento nesses mais de sete anos de aprendizagem, e ao CEPEAD, por possibilitar o meu desenvolver integral nesse período.

Aos colegas do Núcleo de Pesquisas em Eficiência, Sustentabilidade e Produtividade - NESP pelo companheirismo durante o período.

DEDICATÓRIA

À minha família e a todas as pessoas que me apoiaram nesta jornada. À Marcela por compartilhar e me apoiar mesmo nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Existem diversas razões para monitorar o modo como o meio ambiente afeta uma empresa. Dentre essas razões, é possível destacar as cinco mais importantes: reduzir custos; responder à demanda de investidores; facilitar aprovações regulatórias; mitigar riscos operacionais; otimizar a contratação e atender a demandas sustentáveis. Nesse sentido, a apresentação de variáveis ambientais como medições capazes de alterar os escores de eficiência das empresas e por consequência, os valores financeiros que seriam necessários reduzir para se atingir a eficiência máxima, auxilia os gestores a compreender melhor os impactos das variáveis ambientais e a tomar decisões mais assertivas. Considerando que existem poucas ferramentas públicas que permitem aos gerentes avaliar o impacto das variáveis ambientais como da maneira explicitada, esta dissertação tem por objetivo investigar e apresentar um estudo de caso sobre o impacto das variáveis ambientais na análise de eficiência operacional em empresas de energia. Para tal, pretende-se estudar o processo de manutenção de rede da Cemig Distribuição S/A (Cemig D), que é uma das mais destacadas empresas do setor elétrico do país.

Palavras-chave: Data Envelopment Analysis, avaliação de eficiência em custos,

ABSTRACT

There are several reasons to monitor how the environment affects a company. Among these reasons it is possible to highlight the five most important as: cost reduction; response to investor demand; facilitate regulatory approvals; mitigate operational risks and optimize procurement and meet sustainable demands. In this sense, the presentation of environmental variables such as measures capable of altering the companies efficiency scores, and therefore the financial figures that would be necessary to reduce to achieve maximum efficiency, helps managers to better understand the impacts of environmental variables and take more assertive decisions. Considering that there are few public tools that allow managers to assess the impact of environmental variables such as the explained way, this Master aims to investigate and present a case study on the impact of environmental variables on operational efficiency analysis in energy companies. To this end, we intend to study the network maintenance process of Cemig S/A (Cemig D), which is one of the leading power companies in the country.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Cost efficiency evaluation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais processos internos da Cemig D.....	52
Tabela 2: Gerências regionais da Cemig D e a quantidade de municípios atendidos.....	54
Tabela 3: Resultados do ajuste de modelos de regressão Cobb-Douglas aplicando o método <i>Best subsets</i> para a seleção de variáveis – variável dependente: logaritmo do custo de manutenção da rede por número de consumidores	56
Tabela 4: Respostas do questionário.....	65
Tabela 5: Sumário das perguntas tipo A	69
Tabela 6: Pontuação para avaliar impacto das variáveis.....	70
Tabela 7: Sumário das perguntas tipo B	71
Tabela 8: Estatística descritiva para a variável Velocidade dos ventos.....	72
Tabela 9: Estatística descritiva para a variável <i>Taxa de queda de árvores</i>	73
Tabela 10: Estatística descritiva para a variável Densidade de raios.....	74
Tabela 11: Estatística descritiva para a variável Chuvas	75
Tabela 12: Correlação entre escores de eficiência e variáveis ambientais para o modelo CRS	76
Tabela 13: Correlação entre escores de eficiência e variáveis ambientais para o modelo.....	76
Tabela 14: P-valor para o segundo estágio do método CRS por meio do método de mínimos quadrados	77
Tabela 15: Escores do segundo estágio de eficiência CRS por meio do método de mínimos quadrados	77
Tabela 16: Resultados do ajuste do modelo por Tobit.....	78
Tabela 17: Variação dos escores do modelo CRS de supereficiência para as perguntas tipo B.....	80
Tabela 18: Resultado do questionário.....	89
Tabela 19: Correlações entre as variáveis utilizadas	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais variáveis da Cemig D para manutenção de redes: número de consumidores, consumo e comprimento de rede.....	58
Quadro 2: Principais variáveis da Cemig D para manutenção de redes: "outras" e "socioeconômica".....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avaliação Ideal	29
Figura 2: <i>Set up</i> de razão ideal	30
Figura 3: Combinações de insumo-produto para diversas firmas	32
Figura 4: Razões conflitantes	33
Figura 5: Linha de regressão versus linha de fronteira ($I = B > E > D > C > H > A = G > F = 0,4$)	37
Figura 6: Combinações de insumo-produto e livre descarte	39
Figura 7: Combinações de insumo-produto, livre descarte e convexo	39
Figura 8: Visão sistêmica	41
Figura 9: Mensurando a eficiência de Farrell	42
Figura 10: Modelo de retornos constantes de escala	45
Figura 11: Modelo de retornos variáveis a escala	48
Figura 12: Gerências regionais	53
Figura 13: Sequência lógica para identificação das variáveis ambientais mais impactantes	62
Figura 14: Escores de eficiência das gerências no modelo CRS	64
Figura 15: Perguntas Tipo A	68
Figura 16: Perguntas tipo B	68
Figura 17: resultados do ajuste dos escores utilizando o modelo Tobit para a variável vento	78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos de pesquisa.....	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.2. Limitações da pesquisa	19
1.3. Contribuições da pesquisa.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Teorias fundamentais	19
2.1.1 Teoria da produção.....	19
2.1.2 Teoria do incentivo	21
2.2 Regulação das empresas de distribuição de energia elétrica.....	23
2.3 <i>Benchmarking</i>	24
2.3.1 – Etapas do <i>benchmarking</i>	26
2.3.2 Avaliações ideais.....	28
2.4 <i>Benchmarking</i> por meio de <i>Data Envelopment Analysis</i>	33
2.4.1 Modelo CCR	43
2.4.2 MODELO CCR DE SUPEREFICIÊNCIA.....	45
2.4.3 MODELO VRS.....	46
2.5 – Análise de eficiência em dois estágios.....	49
2.5.1 – Método dos mínimos quadrados	49
2.5.2 Regressão Tobit.....	49
3. A COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS E A IDENTIFICAÇÃO DOS DRIVERS DE CUSTOS DA MANUTENÇÃO DE REDES.....	51
3.1 – Execução da manutenção	52
3.1.1 – Manutenção de redes.....	53
4 METODOLOGIA	57
4.1 Dados existentes e proposição de modelo <i>DEA</i>	59
4.2 Método de coleta dos dados qualitativos	61
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	63
5.1 Modelo de eficiência <i>DEA</i>	63
5.2 Resultado do Questionário com Gestores	64
5.3 Análise estatística descritiva das variáveis ambientais	71
5.4 Análises de correlação	75
5.4.1 Correlações do modelo CRS	76

5.5 Análise dos modelos de segundo estágio.....	76
5.5.1 Análise do modelo CRS em segundo estágio por meio do método dos mínimos quadrados.....	77
5.5.2 Resultados do ajuste do modelo por Tobit.....	78
6 CONCLUSÃO.....	79
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
APENDICE 1 – QUESTIONÁRIO DE <i>BENCHMARKING</i> INTERNO.....	86
APENDICE 2 – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE <i>BENCHMARKING</i> INTERNO.....	89
APENDICE 3 – TABELA GERAL DE ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS.....	90

LISTA DE ABREVIACÕES

ABRADEE – Associação Brasileira das Empresas de Distribuico de Energia Elétrica

ABRAPCH – Associação Brasileira de Fomento s Pequenas Centrais Hidroelétricas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CHI – Cálculo do Consumidor Hora Interrompido

CO – Custos Operacionais

DEA – Data Analysis Envelopment

DEC – Duração Equivalente de Interrupco

DMU – Decision Making Unit

DV – Divinópolis;

GV – Governador Valadares;

IP – Ipatinga;

JF – Juiz de Fora;

KV – Quilovolt

Mbt – Mercado de Baixa Tensão

MC – Montes Claros;

MP – Metropolitana;

MT – Metalúrgica;

MW – Megawatt

NT – Nota Técnica

PA – Pouso Alegre;

PM – Patos de Minas;

PMSO – Pessoal, Material, Serviço e Outros

PNT – Perdas Não Tnicas

PR – Paracatu;

PS - Passos

SFA – Stochastic Frontier Analysis

SJ – São João Del Rey;

VR – Varginha;

TO – Teófilo Otoni;

UL – Uberlândia;

UR – Uberaba;

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica é de indiscutível importância para o desenvolvimento de uma economia, seja a partir de hidrelétricas, placas solares, parques eólicos, usinas termoeletricas ou usinas nucleares. É clara a importância de fazer com que essa energia seja não somente gerada e transmitida, mas também distribuída pelo país para ser utilizada por todos os setores da economia.

Matos (2014) explica que o sistema de distribuição de energia é capilarizado, pois deve chegar aos domicílios e endereços de todos os seus consumidores. Ele se confunde com a topografia das cidades, ramificando-se ao longo de ruas e avenidas. De acordo com Associação Brasileira de Empresas de Energia Elétrica (ABRADEE, 2015), é possível afirmar que o setor de Distribuição é um dos mais regulados e fiscalizados do País. Ele presta serviço público mediante contrato com o órgão regulador do setor, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que edita resoluções, portarias e outras normas para seu funcionamento adequado, sendo muito rigorosa com sua fiscalização.

A maior parte da matriz energética Brasileira depende do potencial hídrico. Daza, Ströher e Mangoni (2015) ressaltam que a partir da década de 1990, o setor elétrico brasileiro tornou-se um dos primeiros de infraestrutura a sair do modelo estatal para um regime de mercado por meio de concessões públicas. Introduziu-se um novo modelo no setor elétrico, que obrigava a licitação de novos empreendimentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Com a entrada do capital privado no setor elétrico e a perda de influência do Estado para gerir o novo modelo estabelecido, emergiu como necessária a criação da Aneel em 1996, tendo como missão proporcionar as condições para que o mercado de energia elétrica se desenvolvesse.

Durante os anos de 2001 e 2002 o Brasil passou por um período de racionamento de energia elétrica, que gerou aumento de foco no setor elétrico. Guerriero (2013) frisa que, de forma geral, para que exista uma regulação econômica, é necessária a existência de uma boa relação entre as regras do regulador e seus meios de incentivo, alinhados com a decisão da empresa de realizar os investimentos necessários. “Um dos objetivos primordiais da regulação no setor elétrico é evitar abusos mercadológicos de preços elevados para o público consumidor e garantir a qualidade dos serviços prestados pelas empresas concessionárias do serviço de energia elétrica” (FONSECA; LINEU, 2012).

A Aneel (2015) revela que atualmente o Brasil possui concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, além de um conjunto de permissionárias, isto é, cooperativas de eletrificação rural que passaram pelo processo de enquadramento para prestarem serviço público de distribuição de energia elétrica.

Conforme a Associação Brasileira de Fomento às Pequenas Centrais Hidroelétricas (ABRAPCH, 2015), estas empresas não são livres para praticar os preços que desejam, inserindo-se no contexto dos contratos de concessão, que, usualmente, contam com mecanismos de revisões e reajustes tarifários periódicos, operacionalizados pela própria agência reguladora.

De acordo Nielsen e Pollit (2008), na ausência de competição direta, a gerência de uma empresa holding é confrontada com o desafio de definir objetivos para as empresas conquistarem e perceberem todo o seu valor potencial. Em alguns setores, por exemplo, distribuição de eletricidade e varejo, frequentemente, não há efeitos da competição direta como o resultado de fortes efeitos de escala e monopólios por efeito de franquia. A falta dessas pressões competitivas pode levar a ineficiências. Em alguns casos, fatores ambientais, tais como, condições climáticas ou custos salariais, podem ser utilizados por gestores para justificar baixas performances relativas.

Desta maneira, o regulador brasileiro, assim como a maioria dos reguladores europeus, vem utilizando metodologias de *benchmarking* para o cálculo dos custos eficientes que cada empresa de distribuição deveria estar praticando, buscando simular um mercado competitivo. Estas metodologias mensuram escores de eficiência relativa para cada uma das concessionárias de energia. Estes escores podem ser obtidos por meio de modelos de otimização, em especial o *Data Envelopment Analysis (DEA)*, metodologia baseada em programação linear proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), ou modelos de fronteira estocástica como o *Stochastic Frontier Analysis (SFA)*. Jasmab e Pollit (2001) argumentam que os agentes reguladores do setor elétrico já utilizam estas metodologias de avaliação, bastante difundidas, em particular na regulação de serviços distribuição de eletricidade.

De acordo com a Aneel, entidade responsável por regular o setor de Energia Elétrica desde a geração até a distribuição, é de sua responsabilidade identificar o valor das ineficiências nas empresas envolvidas nesse mercado. Desde 2011 a Aneel tem utilizado a metodologia de *benchmarking DEA* para avaliar a eficiência das empresas brasileiras de distribuição de energia

elétrica. Por meio da aplicação desta metodologia e através da modelagem da mesma definida pela Aneel, a Cemig Distribuição (Cemig D), tem alcançado escores não superiores a 70% de eficiência.

De acordo com o órgão regulador, existe um potencial de melhoria significativo a ser alcançado pela Cemig. Para diminuir seus custos de maneira a atender ao regulador e não ter prejuízos financeiros, é de valor estratégico identificar pontos de ineficiência dentro da empresa, por meio de *benchmarking* interno. Dessa maneira, torna-se possível identificar as unidades gerenciais com as melhores práticas e aquelas com potencial de melhoria significativa de seus custos. Para isso, faz-se necessário avaliar o impacto de variáveis exógenas nas gerências da empresa, pois isso reduz o risco de se conceituar e avaliar erroneamente as unidades referências por sua performance, assim como tratar gerências que se situam em ambientes mais complexos, devido à sua topografia, à variação de temperatura e à incidência de raios, por exemplo, de forma equivocada.

Com base no exposto, surge a necessidade de construir um modelo de *benchmarking* interno para a Cemig D que leve em consideração variáveis ambientais consideradas importantes pelos gestores e que impactam o custo dos processos de manutenção de redes nas empresas de distribuição de energia.

1.1 Objetivos de pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

Investigar fatores externos à Cemig-D capazes de influenciar a eficiência da empresa e que possam subsidiar a futura criação de um *benchmarking* interno, de forma a gerar maior controle por parte da distribuidora de seus custos, obtendo, assim, maior eficiência gerencial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar o processo de manutenção de redes das 16 gerências regionais das Cemig D e a influência das variáveis ambientais;
- Investigar a relevância dos fatores observáveis de ambiente, externos a empresa, para os custos da manutenção de redes, por meio de questionários enviados aos gestores das 16 gerências regionais;
- Subsidiar a criação de um modelo de avaliação de eficiência dos custos de manutenção de redes das 16 gerências regionais da Cemig D.

1.2. Limitações da pesquisa

Esta pesquisa está limitada ao estudo das gerências regionais da Cemig D, situadas no estado de Minas Gerais, assim como a uma parte importante do custo total da empresa, o custo de manutenção de redes. Constitui também, limitação desta pesquisa a amostra dos dados analisados entre 2010 e 2012, assim como o período dos dados disponibilizados pela empresa.

1.3. Contribuições da pesquisa

Esta pesquisa visa contribuir para a melhor compreensão e ajuste do impacto das variáveis ambientais nas gerências regionais da Cemig D. Visa também apresentar a análise das variáveis ambientais segundo o modelo de Data Envelopment Analysis. Esta pesquisa também visa subsidiar redução de custos; mitigar riscos operacionais e atender a demandas sustentáveis através de uma melhor compreensão das variáveis ambientais.

Como a Cemig D vem sendo avaliada, como um todo, com base em um modelo DEA que avalia seu escore de eficiência que compara seus custos e produtos com os custos e produtos de outras concessionárias é importante que a empresa identifique, por meio de um *benchmarking* interno onde estão as suas maiores ineficiências. Porém, não é correto construir um modelo DEA de *benchmarking* interno sem identificar como e quais fatores externos influenciam estes escores. Um estudo sobre a influencia e potencial de impacto nos custos das gerencias regionais da Cemig D traz à empresa informações relevantes para tomadas de decisões mais assertivas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Teorias fundamentais

2.1.1 Teoria da produção

Para Ferguson (1971), condições físicas de produção, preço dos recursos e conduta economicamente eficiente de um empresário determinam, conjuntamente, o custo de produção de uma firma. A função de produção fornece a informação necessária para construir o mapa de isoquantas, que representa uma curva que em um espaço de fatores produtivos, representa as várias combinações possíveis de fatores que permitem obter a mesma quantidade de produção. Os preços dos recursos estabelecem as curvas de isocusto, isto é, aquelas que representam as diferentes combinações que podem ser obtidas com base em dois fatores específicos a um dado custo. Finalmente, um comportamento empresarial eficiente significa a produção, em qualquer nível, por

meio de uma combinação de insumos, que iguale a taxa marginal de substituição técnica em relação aos preços dos insumos.

Ainda de acordo com Ferguson (1971), na teoria econômica da produção é possível distinguir entre as funções de produção de curto prazo e as de longo prazo, sendo a forma da função essencialmente diferente. No curto prazo, os insumos não são todos variáveis. Alguns são fixos, e o empresário não pode imediatamente, alcançar a combinação de insumos que corresponde à eficiência econômica, por exemplo, aquela que iguala a taxa marginal de substituição técnica com a relação dos preços dos insumos. A firma operará tão eficientemente quanto possível, mas, geralmente, no curto prazo não será atingido um ponto sobre o caminho de expansão. Portanto é preciso analisar não somente o custo no longo prazo, mas também o custo no curto prazo.

A comparação dos custos relativos dos recursos de uma mercadoria com sua relativa capacidade de ser alvo de desejo social requer o conhecimento de ambos, custo e avaliação social. Para Shepard (1970), na teoria econômica da produção a função de produção é uma afirmação matemática que relaciona quantitativamente a pura relação tecnológica entre os produtos de um processo e os insumos dos fatores de produção. O propósito principal é apresentar as possibilidades de substituição entre os fatores de produção (insumos) para conseguir dado produto. Os distintos bens e serviços utilizáveis em uma tecnologia de produção são referidos como fatores de produção de dada tecnologia. Para qualquer conjunto de insumos desses fatores, a função de produção é interpretada para definir o máximo produto realizável a partir daí.

A função de produção é definida em relação a serviços fixos. Por vezes, os insumos dos fatores de produção são classificados quanto ao fato de serem quantidades fluidas ou estocáveis. A função de produção aqui é definida, como em Ferguson (1970), como uma construção matemática para alguma tecnologia de produção bem definida. Tal tecnologia consiste em uma família de arranjos de engenharia concebíveis e viáveis, não restritos necessariamente a uma realização em particular encontrada na prática, possivelmente, abrangendo mudanças históricas na aplicação da tecnologia. Uma vez definida, a tecnologia implica certo conjunto de fatores de produção e nenhuma limitação será imposta a esses insumos, tanto quanto ao tipo e à quantidade disponíveis. Assim, a função de produção será tomada para descrever as possibilidades técnicas sem restrições de uma tecnologia e sem limitação a qualquer unidade de produção existente ou realizada.

Os fatores produtivos são restritos a bens e serviços, porque isso implica alguma disponibilidade de recursos relativos à demanda em uma permuta econômica, que é relevante para as alternativas técnicas definidas pela função de produção. De toda forma, as situações de interesse em economia são aquelas para as quais nem todos os fatores de produção são livres. Em situações reais, geralmente, colocam-se limitações às quantidades disponíveis nos fatores de produção e as variáveis, tanto de insumos quanto de produtos, são definidas em razão do tempo.

2.1.2 Teoria do incentivo

Considerando uma rede avaliada como um todo, os efeitos da regulação são perceptíveis, inclusive internamente. Devido a isso, essa rede cria e adapta processos e padrões de execução para melhor se adaptar e adequar à situação percebida. Uma maneira não tão impositiva de gerar aumento produtivo é por meio da concessão de incentivos de produção, isso visto a uma situação escassa de recursos disponíveis.

De acordo com Winston (2015), atualmente, as empresas estão focadas em um conjunto de disrupções sem precedentes sob a bandeira da "sustentabilidade", que está levando as organizações a profundas mudanças. Três grandes tendências críticas apontadas são: limitações de recursos e aumento dos preços das matérias-primas; alterações climáticas e condições meteorológicas extremas; e transparência impulsionada pela tecnologia digital. As questões em cada uma dessas linhas exigem nova liderança – ou pelo menos, uma revisão nos mais altos escalões das empresas – e mudanças operacionais profundas. Reconhece-se, cada vez mais, que esta situação, relativamente nova, tem implicações importantes na forma como as empresas operam e que há hoje certo progresso. A realidade é que em um mundo de preços de insumos crescentes e voláteis as empresas precisam ser mais do que apenas flexíveis na forma como reagem às mudanças; é necessário também desenvolver proativamente novos produtos e serviços menos intensivos de recursos ao longo da cadeia de valor.

Winston (2015) frisa que é preciso utilizar menos insumos. Uma organização de alto desempenho deve fazer muito mais do que isso. A rede de suprimentos e os executivos operacionais devem estar prontos para transferir a produção e logística rapidamente de uma região para outra. De forma mais proativa, eles devem distribuir os riscos, espalhando a produção em torno de diferentes regiões com diferentes perspectivas para o tempo e a disponibilidade de água. Um mundo conectado é um mundo transparente. O rápido aumento de dados sobre as condições em tempo real nas cadeias de

abastecimento vai permitir mais agilidade. Novos níveis de conectividade também têm outra ramificação importante: a transparência. Os clientes empresariais e consumidores são exigentes e esperam obter mais informações sobre os produtos que compram. Por isso, a maioria das grandes empresas vai querer mais pessoas e recursos profundamente enraizados na cadeia de abastecimento.

A abordagem teórica tradicional da teoria dos incentivos estagnou, de acordo com Lafont e Tirole (1994). Dessa perspectiva, existem três razões pelas quais a regulação não é um simples exercício em uma teoria da segunda melhor otimização: assimetria de informação; falta de comprometimento; e reguladores imperfeitos.

A assimetria de informação toma forma de *moral hazard* (falta de incentivos para resguardo contra o risco) em uma seleção adversa. Limitam-se os controles que o regulador pode exercer sobre a firma. É difícil para o regulador se comprometer com os esquemas de incentivo, por razões contratuais, legais, reduzindo, assim, a eficiência da regulação. O regulador benevolente pode querer agir no futuro de maneira que ele gostaria de evitar hoje. Por último, os reguladores ou políticos podem ser incompetentes, ter suas agendas ocultas ou simplesmente ser capturados por grupos de interesse. Ou seja, eles podem não otimizar o bem estar social.

A falta de incentivos para resguardo contra o risco, como de acordo com Lafont e Tirole (1994), refere-se a variáveis endógenas que não são observadas pelo regulador. A firma executa ações discretas que afetam seu custo ou a qualidade de seus produtos. A marca genérica para tais ações discretas é o esforço, que pode ser colocado como o número de horas cumpridas no escritório por um gerente de uma firma ou a intensidade do trabalho deles. De toda forma, isso deve ser interpretado de maneira mais ampla. Alocação de regalias por gerentes (contratação de pessoas para redução indevida de sua carga de trabalho, desatenção a inventários excessivos de insumos, etc.), indulgência em atividades que privilegiam seus potenciais de carreira sobre eficiência, atraso em ações desastrosas (por exemplo *layoffs* durante períodos de baixa atividade), compra de materiais e equipamentos a um alto preço e acúmulo de engenheiros ou máquinas não requeridas em contratos correntes mas úteis para obter ganhos comerciais ou para assegurar futuros contratos são exemplos de “esforço negativo”.

A seleção adversa toma forma quando a firma possui mais informações sobre variáveis exógenas que o regulador. A maior parte dos observadores tem enfatizado a importância da seleção adversa na regulação e *procurement* (aquisição). A presença de falta de incentivos para resguardo contra o

risco, a seleção adversa e a perda concomitante de controle do regulador criam uma demanda maior pela coleta de informações.

2.2 Regulação das empresas de distribuição de energia elétrica

De acordo com a Nota Técnica 066/2015–SRM/SGT/ANEEL, a assimetria de informação entre regulador e regulado é um importante aspecto a ser considerado. Está no cerne da discussão dos regimes de regulação, constituindo-se em um dos principais motivos para se adotar, preferencialmente, modelos comparativos e baseados em incentivos.

Nillesen e Pollit (2008) apresentam três passos que derivam da regulação de um sistema.

a) Primeiro – um regulador é, geralmente, forçado a determinar tarifas sem um ambiente competitivo ou de *benchmark* competitivo. Devido à característica monopolística natural de muitas redes de indústrias (*network industries*), esta é a razão principal pela qual existe um regulador em primeiro lugar. Este deve simular um ambiente competitivo e fornecer à companhia um incentivo a operar eficientemente. Essa "simulação" irá induzir a companhia a se comportar como se estivesse exposta a uma competição real.

b) Segundo – o regulador é confrontado com assimetria de informação. Muitas vezes, ele não conhece os custos detalhados, o ambiente de operação e o verdadeiro potencial de eficiência da empresa específica. Os custos de oportunidades de uma firma podem assim ser altos ou baixos com base nos atributos inerentes a suas oportunidades de produção técnica (*technical production opportunities*), nas variações de custo de insumos exógenas ao longo do tempo e do espaço e nas diferenças ambientais inerentes aos custos de localizações com diferentes atributos (por exemplo. urbano ou rural). Adicionalmente, a redução de custos potencial é impulsionada pelo esforço gerencial que não pode ser observado diretamente e tampouco quantificado em termos de impacto ou qualidade.

O problema da assimetria de informação decorre da incerteza envolvida na análise do regulador acerca da eficiência na prestação do serviço de cada concessionária. A grande dificuldade é identificar de forma precisa a parcela do custo decorrente de especificidades não observadas e de ineficiência gerencial. O regulador não detém informação completa sobre todos os fatores que afetam os custos das empresas nem a dimensão da influência deles nesses custos (NT66 ANEEL; 2015).

c) Terceiro – Nillesen e Pollit (2008) afirmam que o regulador não está interessado em executar diretamente ou gerir o negócio, mas sim em estabelecer metas de alto nível, com base em alguns dados de entrada e saída, e monitorar resultados. Isso irá permitir à companhia administrar o negócio, em que o regulador coloca diversos objetivos e deixa a gestão da firma autônoma. Isso encoraja a tomada de iniciativa em situações em que as metas devem ser alcançadas diante de um contexto de fortes incentivos.

A regulação por incentivos refere-se a um arranjo regulatório que possibilita às empresas mais eficientes perceberem benefícios na proporção do seu desempenho. Em contraposição ao regime de regulação pelo custo, é possível que as concessionárias tenham custos reconhecidos superiores aqueles que elas praticam, de forma a premiar melhores resultados. Assim, uma propriedade central de um regime de regulação por incentivos consiste na desvinculação entre os custos reais das concessionárias e sua receita (NT66 ANEEL; 2015).

Existe um *trade-off* referente ao poder de incentivo e o conservadorismo que permeia a decisão regulatória. Em um extremo, pode-se assumir que os percentuais estimados correspondem exatamente à realidade. Ou seja, os custos eficientes estimados são perfeitamente alcançáveis. Isso implica máximo incentivo a ganhos de eficiência. Contudo, corre-se o risco de que parte dos custos que se inferiram como ineficientes seja, em verdade, decorrente de fatores não observados pelo modelo. Por consequência, ter-se-iam uma meta inalcançável e uma cobertura tarifária menor que a necessária naquela concessão, o que prejudicaria a prestação do serviço (NT66 ANEEL; 2015).

Alternativamente, ser conservador demais significa reconhecer uma parcela maior de custos, diante do risco de que parte deles corresponda, de fato, a ineficiência da empresa. Quanto mais conservador, menor o poder de incentivo. No limite, o conservadorismo máximo significa reconhecer os custos reais de cada empresa aproximando-se de um regime de serviço pelo custo. Nesse caso, não haveria incentivo algum para o ganho de eficiência (NT66 ANEEL; 2015).

2.3 Benchmarking

Babovic (2012) explicita que é possível convergir o início da aplicação de *benchmarking* tácito e de *benchmarking* explícito na origem da palavra inglesa *benchmark*, que advém de uma construção terminológica que significa “nivelamento”, “ponto de nivelamento” ou “ponto padrão” do *benchmark* de valor, pelo qual outros valores são medidos e comparados. A palavra original na língua inglesa tem sido identificada como um novo jargão utilizado na teoria e na prática para

descrever um método moderno de comparar o próprio negócio às melhores práticas. Não obstante, *benchmarking* é padrão para comparar medidas e criar um ponto de referência.

Ainda de acordo com Babovic (2012), a aplicação idêntica de métodos já era reconhecida desde as civilizações antigas e nações em um passado distante. O conceito de *benchmarking* foi primeiramente utilizado no início do século XX, nos Estados Unidos. Uma aplicação mais intensa desse termo foi utilizada pelo Japão. Após a Segunda Guerra Mundial, passou-se a estudar e comparar os negócios das melhores organizações ao redor do mundo, assim como as melhores práticas e resultados, buscando novas soluções para aplicar em suas organizações.

No início dos anos de 1960, a IBM deu início à utilização de *benchmarks* internos, devido às grandes diferenças em seus negócios que se localizavam na base de sua unidade organizacional. A companhia decidiu, então, reduzir seus custos e melhorar a qualidade de seus produtos. A incorporação das melhores práticas mundiais levou-a a alcançar a vantagem competitiva no mercado global (Babovic, 2012).

O atual ambiente de negócios das organizações é complexo e cada vez mais caracterizado por intensa competição. A expectativa do cliente por produtos e serviços aumentou e as novas tecnologias que facilitam a rápida comunicação ao redor do mundo possibilitaram uma produção eficiente, disponível a uma maior audiência e em um ritmo mais rápido. As organizações são obrigadas a gerenciar em um ambiente mais inconstante e que ao mesmo tempo vá ao encontro das expectativas dos *shareholders* no retorno do capital investido. De maneira a sobreviver nessas condições, elas são forçadas a, continuamente, revisar e melhorar seus processos de negócio, para serem capazes de agir rápido em relação as mudanças.

Boxwell, (1994) descreve que existem três razões pelas quais o *benchmarking* está se tornando mais comumente utilizado na indústria.

a) O *benchmarking* é uma maneira eficiente para realizar melhoras. Gerentes podem eliminar triagens e erros de melhorias de processo. Práticas de *benchmarking* focam em adaptar os processos existentes para se encaixarem dentro das organizações.

b) O *benchmarking* aumenta a proporção na qual a organização realiza melhorias.

c) *benchmarking* tem a habilidade de aumentar a performance como um todo significativamente. Se toda organização tem excelentes habilidades de produção e gerenciamento total da qualidade, então terá padrões de classe mundiais.

Para Bogetoft (2011), avaliações relativas de performance ou *benchmarking*, consistem na comparação sistemática da performance de uma firma com a de outras. De forma mais geral, trata-se de uma comparação entre entidades de produção. A ideia é a comparar entidades que transformam os mesmos tipos de recursos nos mesmos tipos de produtos e serviços. As entidades de produção podem ser: firmas, organizações, divisões, indústrias, projetos, unidades de tomadoras de decisão ou indivíduos. O *benchmarking* pode ser utilizado em diferentes situações, por exemplo para realizar comparações intraorganizacionais, quando uma sede deseja promover eficiência em custos em suas diferentes subunidades.

Para Babovic (2012), *benchmarking* interno pode ser definido como um método de comparação entre as práticas que ocorrem dentro da organização, de modo a contribuir para a melhoria dos processos do negócio, a adoção de novas tecnologias, a qualidade dos produtos, a redução de custos, o aumento da produtividade e criatividade, inovação e competitividade no mercado. Ele se refere à comparação dentro da própria organização, entre suas unidades. O método também propicia a análise de negócios internos e a melhoria com base em um processo mais produtivo, eficiente e rentável. Com base no *benchmarking* interno, é possível determinar os padrões dentro de uma organização, de acordo, sempre, com a melhor prática.

A melhoria nesses processos tem por consequências a geração de soluções lucrativas, a satisfação das necessidades e os desejos dos consumidores, a qualidade dos produtos oferecidos a ele e o alcance da eficiência de um dado negócio inserido em um mercado, maximizando sempre seu lucro do mesmo. De acordo com o *Institute of Management Accountants* (1995), os estudos de *benchmarking* estão associados à análise de performance, com a realização de cálculos estatísticos e análises de negócios mais profundas, utilizando ferramentas do tipo análises estatísticas, técnicas de estratificação de dados, técnicas de normalização de dados, gráficos em radar, análise de campos de força, ferramentas de análise de gaps de performance e identificação de facilitadores de processo.

2.3.1 – Etapas do *benchmarking*

Segundo Thompson (2008), o *benchmarking* possui quatro etapas.

a) Planejamento – consiste, basicamente, na realização de pesquisas e na análise dos negócios da organização, visando definir de que modo as conclusões definidas por meio das comparações serão aplicadas e quais são as vantagens e desvantagens verificadas. Neste momento, são criadas as equipes de trabalho, para traçar um plano de implementação das ações, determinando-se um prazo para cada atividade com base no tamanho da organização e em sua posição no mercado.

b) Coleta de Dados – consiste no levantamento de informações sobre os produtos, os recursos e as estratégias da organização, sempre com apoio dos princípios éticos.

c) Análise – consiste na análise quantitativa de todos os dados obtidos, para elaborar as próximas ações a serem implementadas, de modo a atingir os resultados esperados. Além disso, uma pesquisa de mercado é conduzida, juntamente com a comparação quantitativa dos negócios da empresa com os de outras organizações, e definem-se os objetivos finais da pesquisa e do nível de desempenho que deve ser atingido. Isto leva a determinar as lacunas existentes no início da investigação.

d) Aplicação – consiste em colocar em prática as ações definidas, com o fim de que sejam realizadas as mudanças necessárias dentro da organização, transformando o conhecimento em prática.

De acordo com *The Nuts and Bolts of Benchmarking*, escrito por Margaret Matters e Anne Evans (1997), existem cinco estágios no processo de análise comparativa:

a) Planejamento da atividade – envolve identificação da intenção estratégica do negócio ou do processo a ser aferido. Muitas vezes, esta informação pode ser obtida por meio da declaração da missão da empresa, que resume suas principais finalidades. Em seguida, procede-se à seleção dos processos a serem referenciados. Isso consiste em identificar os vários produtos (*outcomes*) da empresa referência e em perguntar às outras empresas se acaso utilizarem o mesmo processo irão criar resultados positivos. Em seguida, deve-se identificar as expectativas do cliente. Finalmente, determinam-se os fatores críticos de sucesso, por ordem para o *benchmark*. Esses fatores são os *links* para os resultados do negócio de sucesso.

b) Formação da equipe de *benchmarking* – consiste em selecionar os membros globais da equipe, nas várias áreas da organização. Todos devem cooperar e se comunicar uns com os outros,

para que os melhores resultados fora do processo de *benchmarking* sejam obtidos. Existem três principais equipes que compõem o grupo em geral: a equipe líder, responsável por manter o compromisso com o processo em toda a organização; a equipe de preparação, responsável pela realização de uma análise detalhada; e a equipe de visita, responsável por realizar a visita ao *benchmark*.

c) Coleta dos dados – esta etapa envolve a coleta de informações sobre as empresas com as melhores práticas e suas performances. Antes de uma empresa identificar as melhores práticas das gerências regionais, deve identificar seus próprios processos, produtos e serviços. Esta etapa irá permitir que uma empresa perceba a extensão das melhorias disponíveis. As visitas ao local são também um fator importante na coleta dos dados, porque eles permitem outra compreensão mais aprofundada dos processos.

d) Análise dos dados na busca por *gaps* –consiste em determinar como a empresa se relaciona com as empresas aferidas. Permite a identificação de *gaps* de desempenho e suas possíveis causas.

e) Tomada de atitude –consiste em determinar o que precisa ser feito, a fim de coincidir com a melhor prática para o processo em questão. A determinação de mudanças não só deve ser criada, mas sim implementada.

2.3.2 Avaliações ideais

Para avaliar a performance, é possível utilizar uma função de custo que mostra, por definição, o menor custo possível de fornecer diferentes níveis de produto. A função de custo é ilustrada na Figura 1. É possível afirmar que a firma atual é ineficiente, pois os mesmos produtos podem ser produzidos a um menor custo.

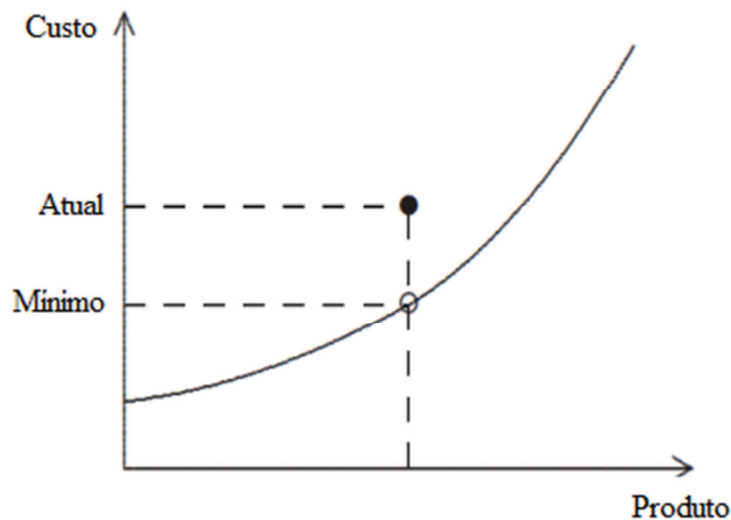


Figura 1: Avaliação Ideal

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

De fato, o custo excessivo de uma firma – por exemplo, a distância vertical entre o custo atual da firma e o custo mínimo necessário – é uma medida absoluta de ineficiência. A ineficiência pode ser medida por meio da Equação 1:

$$Ineficiência\ relativa = \frac{(Custos\ atuais - Custos\ mínimos)}{Custos\ atuais} \quad (1)$$

Quanto menor a ineficiência, melhor a performance. Assim, é possível medir a eficiência de custos diretamente como a razão de custo mínimo aos custos atuais:

$$Eficiência = \frac{Custos\ mínimos}{Custos\ atuais} = 1 - Ineficiência \quad (2)$$

De acordo com Bogetoft (2011), de forma mais geral, as avaliações de razão ideal podem ser descritas da seguinte forma: de uma perspectiva padrão microeconômica, a performance de uma firma é a imagem de sua habilidade de escolher os melhores meios (alternativas) de buscar seus objetivos (preferências). A Figura 2 retrata uma ilustração das alternativas disponíveis que seriam dadas pela tecnologia T, ilustrada pela curva isoquanta de produtos. Por definição, a isoquanta de produtos mostra as maiores quantidades de produtos para dados insumos. As preferências dadas pela função de utilidade U(-) são representadas aqui por meio de curvas lineares de indiferença que cortam ou tangenciam a função U (-). As curvas de indiferença mostram a combinação de produtos que são igualmente bons.

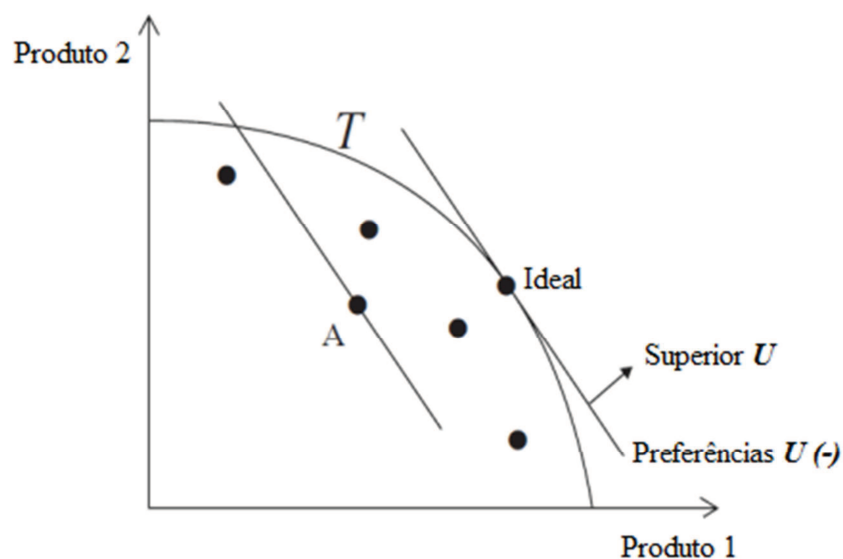


Figura 2: *Set up* de razão ideal

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

A avaliação da razão de performance ideal compara o nível de utilidade obtido atualmente com o máximo nível de utilidade possível. Para a firma “A”, isso seria como comparar $U(A)$ com $U(\text{Ideal})$. Isso captura a eficácia da firma “A” (BOGETOFT, 2011).

$$\text{Eficácia} = \frac{\text{Performance atual}}{\text{Performance ideal}} = \frac{U(A)}{\max_{y \in T} U(y)} = \frac{U(A)}{U(\text{Ideal})} \quad (3)$$

Chiavenato (1994) define eficácia como uma medida normativa do alcance dos resultados, isto é a se o executado é o que realmente deveria ser executado. O autor explicita que nem sempre é possível ser eficiente e eficaz ao mesmo tempo, e vice-versa, sendo que o ideal é ser eficiente e eficaz. Stoner e Freeman (1995) apresentam seu ponto de vista sobre a definição de Peter Drucker na diferenciação de eficiência e eficácia ao explicitar que Drucker propôs o julgamento do desempenho de um administrador através dos critérios de eficácia – capacidade de fazer as coisas ‘certas’ – e eficiência – a capacidade de fazer as coisas ‘certo’. Desses dois critérios, pelo que sugere Drucker, a eficácia é o mais importante, já que nenhum nível de eficiência, por maior que seja, irá compensar a escolha dos objetivos errados.

Benchmarking é, basicamente, uma tentativa de aproximar a ideia econômica de avaliações de razões ideais. É preciso coletar dados para descrever o comportamento atual, estimar uma aproximação do relacionamento ideal entre insumos e produtos e, também, combinar a performance

ideal com a performance atual para avaliar a eficiência. Avaliação de performance e análise de eficiência referem-se basicamente a essas atividades.

Para Bogetoft (2011), se fosse possível agregar o objetivo da empresa em um único critério, uma função de utilidade, e se existisse uma perfeita descrição das possibilidades e da tecnologia, o *benchmarking* não seria complicado. Em tais contextos, pode-se fazer uma avaliação racional ideal comparando o valor de utilidade alcançado com o valor máximo que é possível obter com base na tecnologia definida. Em avaliações reais, normalmente existe a carência de informações sobre ambos, sobre o objetivo global da empresa e sobre suas possibilidades. *Benchmarking* é uma maneira de superar tais problemas práticos fundamentais movendo-se da eficácia à eficiência relativa.

Para Bogetoft (2011), uma maneira tradicional de superar algumas dificuldades para se criar uma avaliação da razão ideal consiste na utilização de razões que devem refletir, de maneira essencial, o objetivo da firma. Como exemplo ilustrativo, cita-se que é, frequentemente uma razão de saída para uma entrada. Para exemplificar seu funcionamento, é possível assumir que a firma utiliza um insumo para produzir um produto. Quando se possuem dados de insumo-produto de várias firmas, é possível determinar quem está melhor utilizando os recursos. Pode-se comparar o que é vagamente chamado de “produtividade”, por exemplo, produto/insumo.

A Figura 3 permite comparar as combinações de insumo-produto para cada firma em um gráfico simples. É possível perceber que os insumos estão no eixo x, enquanto na Figura 1 estavam no eixo y na função de custo.

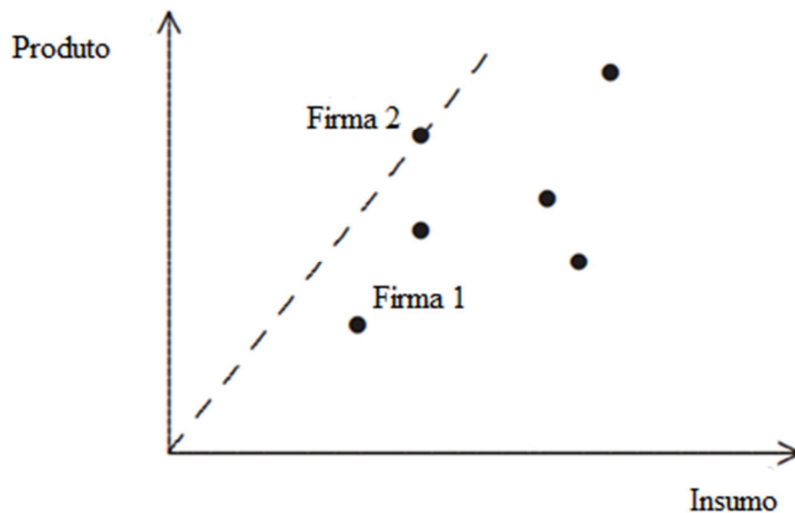


Figura 3: Combinações de insumo-produto para diversas firmas

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

A firma com a maior produtividade é aquela com a maior razão de produto por insumo, o nível de produtividade dessa firma é mostrado pela inclinação da curva tracejada na Figura 3. Pode-se então, comparar as outras firmas a esta, em especial comparando-as com a linha tracejada.

Bogetoft (2011) entende que a eficiência da firma 1 é a razão da produtividade desta comparada a produtividade da firma 2, e essa razão é definida como E. Seja (x^1, y^1) e (x^2, y^2) a combinação de insumos-produtos das duas firmas. Então, as produtividades das firmas são y^1/x^1 e y^2/x^2 , e a razão de eficiência é:

$$E = \frac{y^1/x^1}{y^2/x^2} = \frac{y^1/y^2}{x^1/x^2} \quad (4)$$

Ainda de acordo com Bogetoft (2011), ao utilizar essas razões essenciais de uma firma é necessário fazer algumas observações importantes sobre a utilização delas, que são pressupostos implícitos. Primeiro, ao comparar uma firma de pequena produção com uma firma de grande produção, implicitamente, assume-se que é possível dimensionar insumos e produtos de forma linear. Assim, assume-se um retorno constante de escala. Mesmo em um exemplo simples, ao assumir retornos crescentes ou decrescentes à escala, a comparação pode ser diferente. Na Figura 1 foi realizada uma suposição de retornos constantes a escala, presumido que se conhecia o verdadeiro relacionamento entre insumos e produtos, o que, na realidade, muitas vezes, é difícil de mensurar, devido a métodos de execução diferentes e a perdas, dentre outros fatores.

Uma segunda limitação dessa abordagem é o frequente envolvimento de avaliações apenas parciais. Uma razão não pode, de forma geral, refletir o propósito da firma. É possível que múltiplos insumos formem diversas razões de produtos-insumos, assim como é possível, por exemplo, se interessar pelo produto/unidade de trabalho e pelo produto/unidade de capital utilizado na produção. Então, seriam duas razões como na Figura 4. Contudo, percebe-se que assim as razões podem não identificar a mesma firma como a mais produtiva. A firma 2, demonstrada na Figura 4, possui alto produto por unidade de trabalho, mas baixo produto por unidade de capital e a firma 3 possui alta produtividade de capital, mas baixa produtividade de trabalho. Claramente, é possível dizer que a firma 1 deveria ambicionar a produtividade de trabalho da firma 2 e a produtividade de capital da firma 3. Em muitos casos, entretanto, esse ideal não é viável, já que haverá algum efeito de substituição entre trabalho e capital. Outra maneira de dizer isso é que *benchmarks* parciais levam a comparações enganosas e que firmas reais podem ser comparadas com ideais não viáveis, aos invés de ideais otimistas.

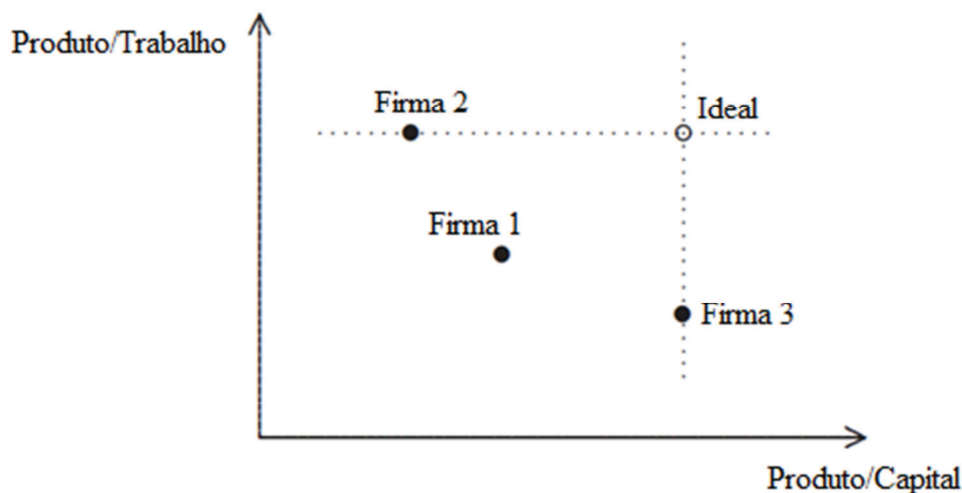


Figura 4: Razões conflitantes

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

2.4 Benchmarking por meio de *Data Envelopment Analysis*

Data Envelopment Analysis é um método não paramétrico de construção de uma fronteira de eficiência, relativamente à qual se pode estimar a eficiência relativa de cada unidade, e determinar as unidades referenciais (*benchmarks*) para os casos de ineficiência. É uma técnica baseada em programação linear utilizada para medir o desempenho relativo de unidades organizacionais (unidades produtivas - UPs) em que a presença de múltiplos insumos e produtos torna as

comparações difíceis. Sua vantagem perante outros métodos como fronteira estocástica e método dos mínimos quadrados vem a partir do momento em que não impõe a definição prévia da relação funcional entre insumos e produtos (LOPES, et al. 2011).

A história da metodologia de *Data Envelopment Analysis (DEA)* começa com a pesquisa da tese de doutorado de Edwardo Rhodes's na Carnegie Mellon University's School of Urban and Public Affairs, sob a supervisão de W. W. Cooper. Esse trabalho resultou na formulação do primeiro modelo de retornos constantes a escala CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) e na publicação do primeiro artigo introduzindo *DEA* no *European Journal of Operations Research* em 1978 (CHARNES et al., 1994).

O CCR utiliza a otimização para generalizar o modelo de mensuração de eficiência técnica de apenas um insumo/produto de Farrell (1957) para o caso de múltiplos insumos/produtos, construindo um único produto virtual para uma única medida de insumo virtual de eficiência relativa. *DEA* tornou-se uma ferramenta da Ciência da Gestão para a análise de eficiência técnica de setores públicos. Cada *Decision Making Unit (DMU)*, ou unidade tomadora de decisão, é considerada uma unidade de análise capaz de tomar suas decisões. É avaliada por meio de sua capacidade de transformar insumos em produtos (CHARNES et al. 1994).

Em seu livro, Charnes et al. (1994) mostram-se preocupados com avaliações de performance, especialmente sobre atividade de organizações como empresas de negócios, agências governamentais, hospitais e instituições de educação. Tais avaliações tomam uma variedade de formas em análises habituais. Os exemplos incluem custo por unidade, retorno por unidade, satisfação por unidade, e assim por diante, os quais são medidas elaboradas em uma razão de produto/insumo.

DEA envolve um princípio alternativo para extrair informação sobre uma população de observações. Em contraste a uma aproximação paramétrica, cujo objetivo é otimizar uma regressão por meio dos dados, *DEA* otimiza cada observação individual para calcular uma fronteira discreta fracionada determinada pelo conjunto das *DMUs* eficientes de Pareto. Ambas as aproximações, a paramétrica e a não paramétrica (programação matemática), utilizam toda a informação contida nos dados (CHARNES et al., 1994).

DEA busca otimizar a mensuração de performance em cada *DMU*. Esse resultado é encontrado compreendendo cada *DMU* ao invés da representação de uma *DMU* média fictícia supostamente ideal (CHARNES et al., 1994). O foco em *DEA* apoia-se na observação individual, representada através de “n” otimizações (uma para cada observação), requerida na análise *DEA*, em contraste com o foco em médias e estimações de parâmetros que estão associados com abordagens estatísticas de otimizações unitárias. Segundo CHARNES et al. (1994), deve-se notar que *DEA*:

- a) foca em observações individuais, em contraste com médias da população observada;
- b) produz uma medida agregada unitária para cada *DMU* em termos da utilização de fatores de insumos para produzir os produtos desejados;
- c) pode, simultaneamente, utilizar múltiplos produtos e múltiplos insumos, sendo cada um com diferentes unidades de medida;
- d) é ajustável para variáveis exógenas;
- e) pode incorporar variáveis categóricas (*dummy*);
- f) está livre de valores e não requer especificação ou conhecimento de pesos *a priori* ou preços para os *inputs* ou *outputs*;
- g) não restringe a forma funcional da relação de produção;
- h) pode acomodar julgamento de valor, quando desejado;
- i) produz estimativas específicas para mudanças desejadas em insumos e/ou produtos, projetando *DMUs* fora da fronteira eficiente;
- j) é Ótimo de Pareto, cuja definição pode ser descrita como uma posição (em uma economia) na qual é impossível melhorar o bem-estar (econômico) de um, alterando a produção ou permuta sem afronta ao bem-estar alheio;
- k) foca nas melhores práticas de fronteira reveladas, ao invés das propriedades da fronteira de tendência central; e
- l) satisfaz o critério de equidade estrita na avaliação relativa de cada *DMU*.

Em *DEA*, os pesos são derivados diretamente dos dados, com o resultado de que, *a priori*, numerosas suposições e variados cálculos envolvidos em pesos fixos são evitados. Além disso, os pesos são escolhidos de maneira a atribuir o melhor conjunto de pesos a cada *DMU*. O termo *melhor* é utilizado para significar que o resultado da razão insumo-produto para cada *DMU* é maximizado relativamente para todas as outras *DMUs* quando esses pesos são atribuídos a esses insumos e produtos (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007). Para a aplicação da metodologia *DEA*, é necessário que, no mínimo a soma das *DMUs* seja duas vezes o número da soma de produtos e insumos utilizados no modelo.

Podem-se notar mais vantagens no modelo de *DEA*: em (a) sua habilidade para identificar fontes e quantidades de ineficiência em cada insumo e cada produto para cada entidade (hospitais, lojas, móveis, etc.); e em (b) sua habilidade para identificar os *benchmarks* para as empresas ineficientes (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

Para Cooper et al. (2007), a definição de eficiência pode ser descrita como os benefícios assegurados e os recursos utilizados. A ineficiência técnica representa na metodologia *DEA* o desperdício. A Figura 5 mostra oito empresas cujas eficiências estão sendo comparadas com relação ao número de vendas e à quantidade de funcionários que possuem. No eixo Y tem-se a quantidade de vendas e no eixo X, o número de empregados. De acordo com Cooper, Seiford e Tone (2007), é possível afirmar que a linha que passa por "H", como normalmente determinado por análise de regressão, passa no meio desses pontos de dados. Então, é possível definir os pontos acima como excelentes e os pontos abaixo como inferiores, ou insatisfatórios. Pode-se medir o grau de excelência ou de inferioridade desses pontos de dados pela magnitude do desvio da linha ajustada. De outro lado, a linha de fronteira designa a performance da melhor empresa B e mensura a eficiência de outras empresas pelo desvio delas a partir daí. Assim, existe uma diferença fundamental entre aproximação estatística via análise de regressão e *DEA*. A primeira linha traçada reflete a média ou o comportamento da tendência central das observações, enquanto a segunda exemplifica a melhor performance e avalia todas as performances por desvio da linha de fronteira. Esses dois pontos podem resultar em grandes diferenças quando utilizados como métodos de avaliação. Eles podem também resultar em diferentes abordagens para melhoria. *DEA* identifica um ponto como B para futuro exame ou para servir como um *benchmark* para usar na busca de melhorias. A abordagem estatística, de outro lado, calcula a média de B, em conjunto com as outras observações, incluindo F como uma base para sugerir onde as melhorias poderiam ser realizadas.

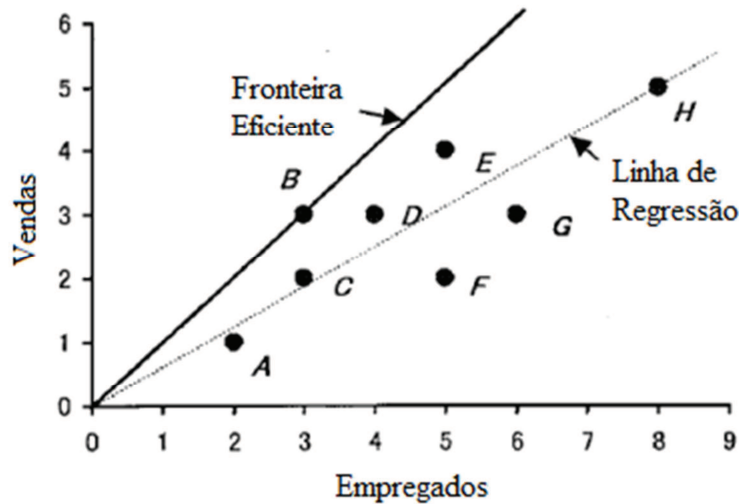


Figura 5: Linha de regressão versus linha de fronteira ($I = B > E > D > C > H > A = G > F = 0,4$)

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

Cooper et al. (2007) consideram esse tipo de ineficiência, o qual pode ser eliminado sem a mudança nas proporções referida, ineficiência técnica. Pode-se usar o termo *ineficiência técnica* para se referir a todos os tipos de perda. Outro tipo de ineficiência ocorre quando apenas alguns produtos ou insumos são identificados como exibidores de comportamento ineficiente. Esse tipo de ineficiência é referida como um "mix de ineficiência", devido ao fato de que sua eliminação irá alterar as proporções na qual os produtos são produzidos ou os insumos são utilizados.

Ainda na linha de raciocínio de Cooper et al. (2007), esse resultado da razão ideal é geral, dentro das principais condições: primeira, todos os dados e todos os pesos são positivos (ao menos não negativos); segunda, a razão resultante deve se localizar entre zero e uma unidade; e terceira, esses mesmos pesos para a entidade objeto são aplicados a todas as entidades. O significado desse resultado é claro. Em cada caso, a avaliação é afetada de um ponto na fronteira eficiente de tal forma que um valor como 0,88 para uma empresa C significa que ela é 12% ineficiente. Isso é, comparado aos membros de um conjunto de referência eficiente, é possível identificar uma ineficiência técnica pura de 12% – e possíveis mix de ineficiências também – mesmo quando o melhor conjunto de pesos em cada uma dessas empresas poderia ser escolhido para avaliar suas próprias ineficiências.

De acordo com Bogetoft (2011), quando se comparam combinações de insumo-produto para diversas firmas, implicitamente, assume-se que é possível definir a escala insumos e produtos como

positiva e negativa. Será definida a eficiência de insumo para uma combinação de insumo-produto (x, y) como o menor fator “E” pelo se pode multiplicar o insumo x de tal forma que ainda seja possível produzir y , assumindo retornos constantes à escala. Se for utilizada uma menor quantidade do insumo à $E(x)$ seria impossível produzir y .

$$E(x, y) = \min\{e \mid ex \text{ pode produzir } y\} \quad (5)$$

Outra forma de observar “E” é dizer que é possível economizar $(1 - E)x$ do insumo e ainda produzir o produto y . Para determinar se um insumo pode produzir um produto é necessário obter informações sobre sua tecnologia. Para esse propósito, introduz-se o *set* tecnológico. O *set* tecnológico T é o *set* de combinações de insumos e produtos tais que o insumo pode, de fato, gerar o produto (BOGETOFT, 2011).

$$T = \{(x, y) \mid x \text{ pode produzir } y\} \quad (6)$$

Um grande problema em realizar *benchmarking* está em estimar a forma do *set* tecnológico com observações de alguns insumos-produtos de diversas firmas. Caso não exista ruído nos dados, o *set* tecnológico consiste nos dados das últimas observações de combinação insumo-produto de uma produção viável para uma firma. Para a definição de um *set* tecnológico, é necessário fazer algumas suposições.

A primeira suposição, apresentada também por Bogetoft (2011), denota que se uma combinação de insumo-produto é viável na produção de uma firma, então qualquer outra combinação em que o insumo é maior ou o produto é menor, também seria uma produção viável. Chama-se essa hipótese de *free disposability*. Começando de um *set* de observações numeradas de 1 a 6, tem-se que *free disposability* resultante de um *set* de tecnologia é a linha tracejada na Figura 6.

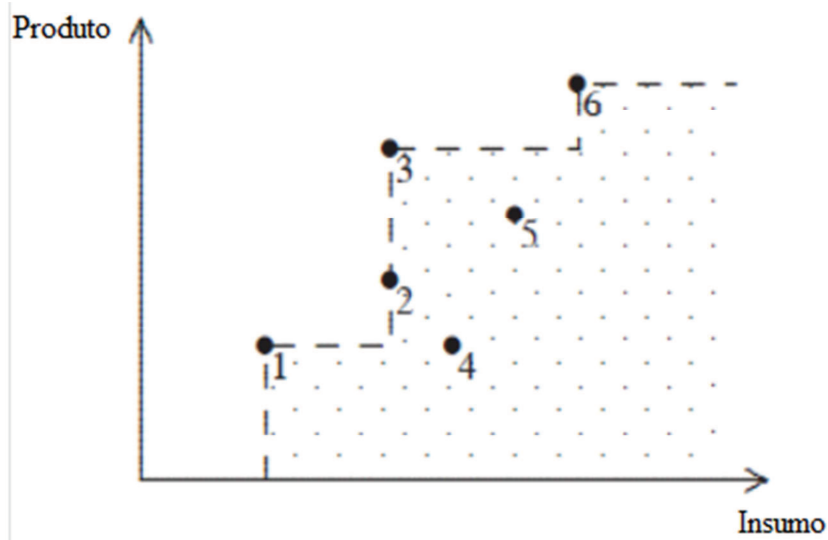


Figura 6: Combinações de insumo-produto e livre descarte

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

Uma segunda suposição comum, que Bogetoft (2011) também apresenta, revela que se duas combinações de insumos-produtos são viáveis qualquer conjunto de ambos é também chamado de “produção viável”. Um conjunto de duas combinações de insumos-produtos é chamada de “combinação convexa”. Assim, o autor refere-se sobre isso como uma suposição de convexidade ou afirma que o *set* tecnológico é convexo. Ao combinar *free disposability* e convexidade das seis observações na Figura 6, o *set* tecnológico toma a forma como na Figura 7.

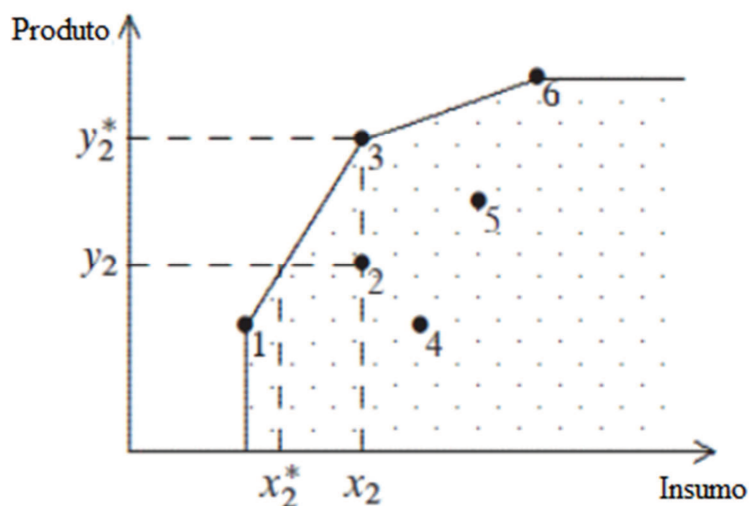


Figura 7: Combinações de insumo-produto, livre descarte e convexo

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

Com uma tecnologia estimada, compara-se a firma com o que é viável, dado um *set* de tecnologia. Pode-se ver a partir da Figura 7 que a fronteira de um *set* tecnológico é determinado pelas firmas 1, 3 e 6. Assim, é possível comparar qualquer combinação de insumo-produto no *set* tecnológico com uma mistura ou combinação convexa dessas firmas.

Para Bogetoft (2011), considerando, por exemplo, a firma 2, pode-se verificar que sua combinação de insumo-produto é um ponto interior no *set* tecnológico e que é possível produzir y_2 apenas utilizando o insumo x_2^* , ao invés do observado insumo x_2 para a unidade 2. A eficiência de insumo da firma 2 é, então:

$$E_2 = \frac{x_2^*}{x_2} \quad (7)$$

E tem-se $x_2^* = E x_2$

Ao comparar a firma 2 com o limite, compara-se com uma combinação convexa das firmas 1 e 3. É possível perceber que a eficiência medida aqui é similar à eficiência calculada em relação à Figura 1. A única diferença é que agora se utiliza uma tecnologia estimada, ao invés de uma dada *a priori*, via função custo. Caso seja mantido o insumo para a firma 2, fixos a x_2 , então é possível calcular a eficiência do produto por:

$$F = \frac{y_2^*}{y_2} \quad (8)$$

Tal que $y_2^* = F y_2$.

Para a firma 2, utilizando o insumo x_2 seria tecnicamente possível produzir o produto y_2^* , e não apenas o menor produtos y_2 . Como exemplo, cita-se que o possível aumento em um produto é $(F-1) y_2$.

É possível afirmar que a maioria das firmas utiliza múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos. Caso fosse possível combinar os insumos em um insumo agregado significativo, como custos, e todos os produtos em um produto significativo, como vendas, então seria possível utilizar um simples indicador. Contudo, conforme Bogetoft (2011) explicita em seu livro, tais agregações são frequentemente inviáveis. Pode-se pensar, por exemplo, em um hospital utilizando médicos e

enfermeiras para produzir operações de joelho e coração. O agregado de diferentes tratamentos é, certamente, controverso, mas agregar os insumos, nesse caso, deve ser problemático, por exemplo, se o mercado de trabalho não for funcional. Além disso, economistas frequentemente abstêm-se da mensuração de sistema de utilidade (social), já que isso envolve delicados problemas de pesagem conjunta quanto às utilidades dos indivíduos.

Ainda de acordo com Bogetoft (2001), faz-se necessária uma abordagem mais orientada ao sistema de uma firma. Uma empresa é vista como uma transformação de recursos em produtos e serviços. A transformação é afetada por variáveis não controláveis, bem como não observáveis habilidades e esforços na organização. A ideia agora é medir as entradas, as saídas e as variáveis não controláveis e, dessa maneira, mensurar a eficiência gerencial de cada empresa, conforme ilustrado na Figura 8.

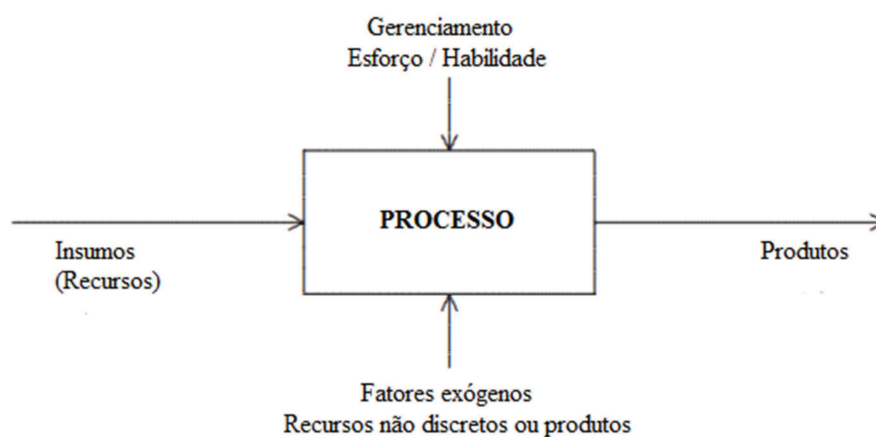


Figura 8: Visão sistêmica

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

Nas avaliações, deve-se, portanto, tentar contabilizar todas as entradas, todas saídas e fatores exógenos, simultaneamente. Assim, podem-se evitar as limitações existentes ao se fazer avaliações parciais. A visão sistêmica, no entanto, faz comparações de forma mais complexa, uma vez que será preciso lidar com as múltiplas dimensões, e as empresas podem ser boas em algumas dimensões e ruins em outras. Considerando alguns exemplos – no caso, dois insumos –, pode-se desenhar a isoquanta de insumos para dados produtos. Com dois produtos, pode-se desenhar a isoquanta de produtos para dados insumos, como na Figura 9, em que também são marcadas uma combinação observada de insumos x e uma combinação observada de produtos y para o qual se deseja calcular a eficiência.

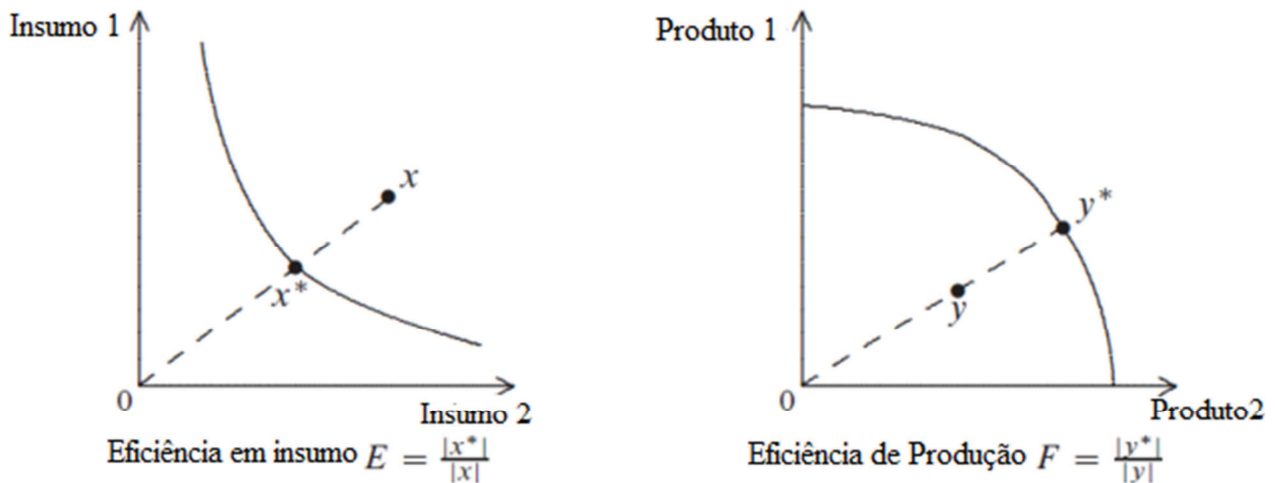


Figura 9: Mensurando a eficiência de Farrell

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

Para medir a eficiência nesses contextos, a literatura moderna de *benchmarking* baseou-se na medida de eficiência de Farrell (1957), cuja ideia é concentrar-se em mudanças proporcionais — a mesma percentagem, reduzindo em todos os insumos ou a mesma percentagem de aumento em todos os produtos. Tais alterações correspondem aos movimentos ao longo das linhas tracejadas na Figura 9.

A eficiência em insumo de Farrell (1957) mede o quanto proporcionalmente é possível reduzir os insumos e ainda produzir os mesmos produtos. A eficiência em insumos é, então, calculada como o menor número E tal que $x^* = Ex$, em que x^* é o ponto de interseção da linha tracejada e a isoquanta na parte esquerda da Figura 9. Mais formalmente, tem-se:

$$\text{Eficiência de insumo de Farrell} = E = \min\{E \mid Ex \text{ pode produzir } y\} = \frac{|x^*|}{|x|} \quad (9)$$

Em que $|x^*|$ é o comprimento do vetor x^* . Da mesma forma é possível definir a eficiência de produtos como o maior fator que é possível multiplicar pelo produto e ainda possuir um produção possível para dado insumo. A eficiência de produtos é então calculada como o maior número F tal que $y^* = Fy$, em que y^* é o ponto de interseção da linha tracejada e a curva de transformação na parte direita da Figura 10. Mais formalmente, tem-se:

$$\text{Eficiência de produto de Farrell} = F = \max\{F \mid x \text{ pode produzir } Fy\} = \frac{|y^*|}{|y|} \quad (10)$$

2.4.1 Modelo CCR

O modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) foi o primeiro modelo de *DEA* a ser construído. De acordo com Cooper et al (2011), assume-se que existem “n” *DMUs* a serem avaliadas. Cada *DMU_j* consome diferentes quantias de “i” diferentes insumos para produzir quantias de *r* diferentes produtos. Mais especificamente, a *DMU_j* ($j = 1, 2, \dots, n$) consome as quantidade x_{ij} ($i = 1, \dots, m$) de insumos e produz as quantidade y_{rj} ($r = 1, \dots, s$) de produtos. Em seu modelo, Cooper et al. (2011) relatam que x_{ij} é maior ou igual a zero e y_{rj} é maior ou igual a zero. Posteriormente, assume-se que cada *DMU* possui, ao menos, um insumo de valor positivo e um produto de valor positivo. Cria-se, então, a razão na forma de *DEA*. Nessa forma, como introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a proporção de produtos em relação aos insumos é usada para medir a eficiência relativa da *DMU_j* em relação à *DMU_o* eficiente, a ser avaliada relativamente com as razões de todas as demais *DMU*. É possível interpretar a construção CCR como uma redução da situação de múltiplos-produtos/múltiplos-insumos (de cada *DMU*) para um simples produto "virtual" e um insumo "virtual". Para uma *DMU*, em particular, a razão desse produto virtual para um insumo virtual fornece a medida de eficiência, que é chamada de “modelo dos multiplicadores”. Deve-se notar que as variáveis y_{r0} e x_{i0} são os valores de produtos e insumos, observados, respectivamente, da *DMU_o* a ser avaliada.

De acordo com Cook e Zhu (2008), o conjunto de restrições de normalização (uma para cada *DMU*) reflete a condição de que a proporção virtual de saída para a entrada virtual de cada *DMU*, incluindo $DMU_j = DMU_o$, deve ser menor ou igual à unidade. O problema de programação matemática na definição de eficiência de empresas que utilizam múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos pode ser estabelecido como o modelo *CRS* (*Constant Returns to Scale*) dos multiplicadores orientado a insumo definido em (II).

$$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0}$$

Sujeito a

(II)

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

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

$$\mu_r, v_i \geq 0$$

Sendo que μ_r e v_i são chamadas de "multiplicador de produtos" e "multiplicador de insumos", respectivamente. Este modelo ficou conhecido como "modelo dos multiplicadores". A função objetivo no modelo acima é a soma dos produtos, y_{ro} , multiplicada pelos pesos μ_{ro} ótimos para a DMU_o a ser avaliada, sendo que devem existir $n + 1$ restrições.

Ainda segundo Cook e Zhu (2008), com base no modelo de programação linear acima, é possível escrever o modelo dual em (12). Esse modelo de *CRS* dual é frequentemente chamado de "eficiência de Farrell", em que λ_j são pesos desconhecidos que representam a participação de cada empresa "j" na formação da empresa virtual eficiente (DMU_o). Tem-se que:

$$\theta^* = \min \theta$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (12)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Ao buscar a solução gráfica desse modelo tem-se um gráfico (Figura 10), cuja fronteira de eficiência tem o seguinte formato:

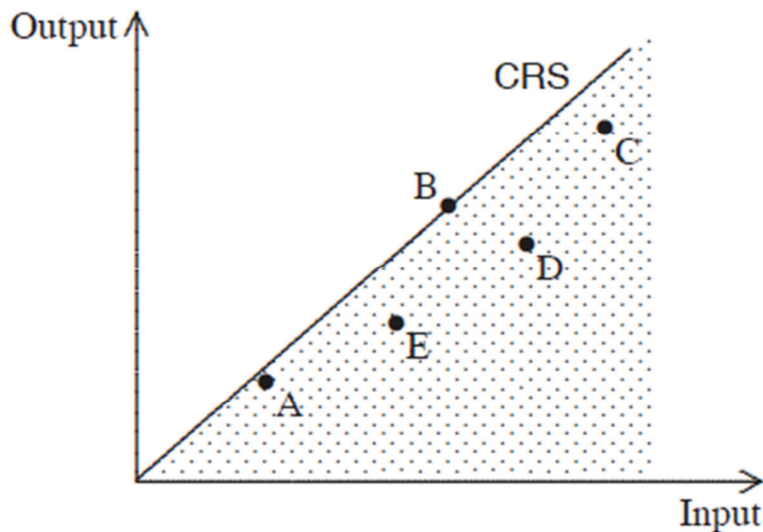


Figura 10: Modelo de retornos constantes de escala

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011

A Figura 10 mostra cinco empresas, A, B, C, D e E. A linha traçada da origem e passando por B define a fronteira de eficiência de tal forma que B é única empresa 100% eficiente. As outras devem se tornar eficientes ao se aproximarem da fronteira. Em modelos orientados a insumo, as empresas devem se aproximar da fronteira por meio da redução dos *inputs*, ou seja, se aproximando do eixo dos *outputs*, caminhando através do eixo dos *inputs*. No modelo orientado aos produtos, as empresas devem se aproximar da fronteira por meio da maximização dos *outputs*; ou seja, afastando-se do eixo dos *inputs* e caminhando através do eixo dos produtos.

2.4.2 MODELO CCR DE SUPEREFICIÊNCIA

Andersen e Petersen (1993) desenvolveram um procedimento para o ranking unidades eficientes. A metodologia permite uma unidade k extremamente eficiente a atingir um escore de eficiência maior do que 100% ao remover a k -ésima restrição na formulação primal, como mostrado.

$$h_k = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n \quad j \neq k \quad (13)$$

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

$$u_r \geq \varepsilon \text{ para } r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq \varepsilon \text{ para } i = 1, \dots, m$$

A formulação dual do modelo de supereficiência como visto, computa a distância entre a fronteira de pareto, avaliada sem a unidade k, e a unidade própria. Ex: $J = \{j = 1, \dots, n, j \neq k\}$

$$\min f_k$$

Sujeito a

$$\sum L_k x_{ij} \leq f_k x_{ik} \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (14)$$

$$\sum L_k y_{rj} \geq y_{rk} \text{ para } r = 1, \dots, s$$

$$L_{kj} \geq 0 \text{ para } j = 1, \dots, n$$

Fundamentalmente o modelo compara a unidade que está sendo avaliada com uma combinação linear de todas as outras unidades da amostra, sendo que a unidade de referência é excluída. Ao retirar a unidade referência da nova comparação, permite-se um novo ranking, sendo que a unidade referência poderia então assumir um eficiência maior do que 100%.

2.4.3 MODELO VRS

O modelo *BCC* (Banker, Charnes e Cooper, 1984) do envelopamento orientado a insumos é descrito por Cook e Zhu (2008). Os insumos são minimizados e os produtos são mantidos em seus níveis atuais. É igual ao modelo CRS, porém tem acrescentado a este a restrição de que o somatório de todos os lambdas é obrigatoriamente igual a 1, permitindo retornos variáveis à escala. Este modelo de programação linear é também conhecido por VRS, que vem de *Variable Returns to Scale*.

$$\theta^* = \min \theta$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j \leq \theta x_{io} \quad i=1,2,\dots, m; \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j \geq y_{ro} \quad r=1,2,\dots,s;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n.$$

O modelo que segue é o dual do anterior, sendo VRS, aos multiplicadores e orientado à redução proporcional de todos os insumos.

$$\max \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} + \mu_o$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \mu_o \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (16)$$

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

$$\mu_r, v_i \geq 0$$

μ_o é irrestrita

A variável μ_o , como descrito acima, está associada à restrição de convexidade $\sum \lambda_j = 1$ em (13). Ou seja, no modelo dual é necessário μ_o .

A Figura 11 representa, graficamente, o modelo VRS. Existem cinco empresas, A, B, C, D e E. A linha traçada saindo verticalmente do eixo dos insumos, passando por A, B, C e, posteriormente saindo perpendicular ao eixo dos produtos, define a fronteira de eficiência de tal forma que as empresas A, B e C são 100% eficientes. As empresas D e E devem se tornar eficientes ao se aproximarem da fronteira. Em modelos orientados a insumo, as empresas devem se aproximar do eixo dos *outputs* por meio da redução dos *inputs*; ou seja, se aproximando da fronteira de produção, caminhando perpendicular ao eixo dos *outputs*. No modelo orientado aos produtos, as empresas

devem se afastar do eixo dos insumos por meio da maximização dos produtos, mantendo os mesmos insumos.

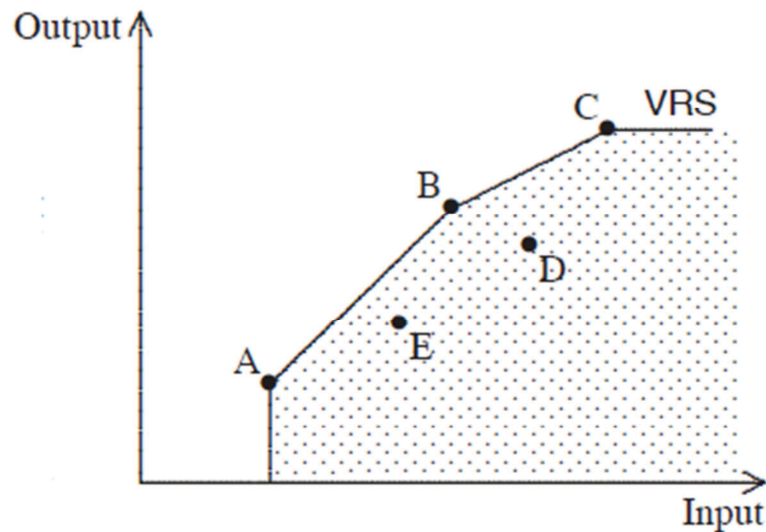


Figura 11: Modelo de retornos variáveis a escala.

Fonte: Bogetoft *Benchmarking with R, SFA and DEA*, 2011.

A principal diferença a ser descrita entre os modelos multiplicadores *CRS* e *VRS* se encontram no fato de que o *CRS* é aplicado quando o negócio analisado opera sobre retornos de escala constantes e o *VRS* quando opera sobre retornos variáveis de escala. Modelos orientados a insumo e orientados a produto podem apresentar diferentes resultados em seus retornos a escala. Assim, o resultado garantido pode depender da orientação utilizada. Segundo Banker (1984), o conceito de retornos de escala é diretamente relacionado a estimativa do ponto de escala mais produtiva (*=mps*). Uma produção pode ser dita crescente em escala, se um aumento em todos os insumos (mantendo a taxa do conjunto ou *mix* dos mesmos constantes) resultarem em um maior aumento proporcional de produtos; e retornos decrescentes a escala, se o aumento nos produtos é menor que a proporção de aumento em todos os insumos. Ainda de acordo com Banker (2004), retornos de escala crescentes podem resultar de um modelo orientado a insumo, enquanto, por exemplo, a aplicação de um modelo orientado ao produto pode produzir caracterização de retornos de escala decrescentes a partir dos mesmos dados.

2.5 – Análise de eficiência em dois estágios

Considerando o que já foi apresentado até o momento sobre a análise de eficiência, esta seção objetiva revisar duas maneiras distintas de ajustar ao ambiente os escores de eficiência mensurados por DEA. Este ajuste é conhecido na literatura como segundo estágio. Dentre os métodos de estimação de eficiência em dois estágios que poderiam ser utilizados é possível citar *Stochastic Frontier Analysis*, Log-Verossimilhança, Método dos mínimos quadrados, Regressão Tobit, dentre outras. Foram utilizadas para análise do segundo estágio o Método dos mínimos quadrados e Regressão Tobit. Posteriormente os métodos de validação através de análises de correlação, valor de p e análise de coeficientes foram utilizados.

2.5.1 – Método dos mínimos quadrados

Após realizado o primeiro estágio em DEA, é possível proceder, em um segundo estágio, um ajuste do mesmo observando o impacto das variáveis ambientais. A utilização do método de regressão linear para esse caso consiste em transformar os escores de eficiência, com base no intervalo de $[0,1]$, utilizando-se, muitas vezes, função de produção *Cobb-Douglas*. De acordo com Ray (1988), é possível estimar o escore de eficiência, θ_k , como a variável dependente em uma equação linear do tipo:

$$\theta_k = \beta z_k + \eta_k \quad (17)$$

Em que z_k , representa a variável independente referente aos fatores ambientais da firma k do modelo; e β seus coeficientes e η o erro aleatório. De acordo com Silva (2015), Uma regressão linear desse tipo, contudo, pressupõe que o erro aleatório seja normalmente distribuído, o que implicaria em possíveis valores de η_k no intervalo $(-\infty, +\infty)$. Entretanto, se forem observados valores de erro aleatório superiores a zero, corre-se o risco de que o escore de eficiência estimado, θ , seja maior que 1, o que invalidaria o modelo. Por isso, Ray (1991), o idealizador desse método, impõe a condição de que o erro aleatório seja necessariamente igual a zero.

2.5.2 Regressão Tobit

De acordo com McDonald (2009), a regressão Tobit é uma adaptação da regressão linear clássica, cujo objetivo é com a finalidade de tratamento de dados de natureza truncada. No caso da regressão Tobit, Silva (2015) *apud* Hoff (2007) frisa que, em geral, há uma superestimação dos escores de

eficiência ajustados, já que os dados que deveriam resultar em números superiores a 1 através de OLS são truncados nesse valor.

De acordo com Costa, Lopes et. al (2016), diferentes modelos estatísticos de regressão podem ser aplicados para ajustar os índices de eficiência. A variável resposta corresponde ao índice de eficiência, cujo espaço amostral está definido no intervalo unitário 0–1. Soma-se a isso o fato de que os modelos DEA permitem estimar eficiências iguais a 100% para mais de uma empresa, o que caracteriza os índices de eficiência como variáveis aleatórias contínuas e censuradas à direita em 1 (100%). Nesses casos, sob a ótica da regressão estatística, o modelo de regressão Tobit é o mais indicado. Ainda de acordo com os autores, é importante destacar que o modelo Tobit é um modelo muito similar ao modelo clássico de análise de regressão linear. Entretanto, o modelo Tobit permite a análise de dados censurados, que é o caso dos índices de eficiência.

Ainda de acordo com Costa, Lopes et. al (2016) a análise dos escores de eficiência das empresas de distribuição de energia elétrica requer uma reestruturação do modelo de regressão linear. A suposição de que a variável resposta se comporta segundo uma distribuição Normal não pode ser considerada. No caso estudado, a variável resposta, definida pelos escores de eficiência, está definida no intervalo $0 \leq Y_i \leq 1$. Para tratar esta característica, o modelo Tobit define uma variável latente Y_i^* compatível com o modelo apresentado na Equação (1):

$$Y_i^* \sim N(\beta_0 + \beta_1 x_i, \sigma_2) \quad (18)$$

Os valores observados estão associados às respectivas variáveis latentes na forma:

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{se } Y_i^* \geq 1 \\ Y_i^* & \text{se } 0 \leq Y_i^* < 1 \\ 0, & \text{se } Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

3. A COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS E A IDENTIFICAÇÃO DOS DRIVERS DE CUSTOS DA MANUTENÇÃO DE REDES

A Companhia Energética de Minas Gerais foi fundada em 1952 pelo governador de Minas Gerais, Juscelino Kubitschek de Oliveira. Trata-se sendo um dos maiores e mais sólidos grupos do setor de Energia Elétrica do Brasil e da América Latina. Companhia de capital aberto controlada pelo governo do estado de Minas Gerais, suas ações são negociadas nas Bolsas de Valores de São Paulo, Nova York e Madri. A empresa atua nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, sendo a maior na distribuição de energia, a terceira maior na transmissão e a terceira na geração. Assim é considerada a maior empresa integrada do setor elétrico, estando presente em 23 estados brasileiros (CEMIG, 2005).

O decreto 4873/2003 criou o programa Luz para Todos, reformulado a partir do Programa Luz no Campo, que atribuiu a Cemig Distribuição S/A (CEMIG D), a responsabilidade pela distribuição da energia elétrica, tendo como objeto de trabalho levar eletrificação às áreas remotas. No estado de Minas Gerais, com uma extensão aproximada de 586.519 km² (IBGE, 2010), uma área aproximada equivalente à de países europeus, a Cemig D é responsável por gerenciar e manter otimizada uma das maiores empresas de energia elétrica do mundo.

A Cemig D possui uma área de concessão que abrange 567.740 km², aproximadamente 96% do estado de Minas Gerais. São 774 municípios e 5.415 localidades proporcionando um atendimento a 18,2 milhões de habitantes, de acordo com a Contagem da População 2007 do IBGE. É a maior distribuidora de energia elétrica do Brasil em extensão de rede, contando 453.935 km de redes de distribuição (91.465 km de rede urbana e 362.470 km de rede rural) e 16.835 km de linhas de distribuição. Possui o maior índice de atendimento a consumidores de baixa renda do Brasil. Atende, aproximadamente, 2,4 milhões de consumidores de baixa renda, ou seja, 42,9% do total de consumidores da classe residencial (CEMIG, 2015).

Matos (2014) descreve na Tabela 1 os principais e mais relevantes processos e participação nos custos da Cemig Distribuição:

Tabela 1: Principais processos internos da Cemig D

Processos	% Custo Total
Execução da Manutenção	33,14%
Infraestrutura	10,16%
Planejamento e Acompanhamento do Faturamento	9,43%
Relacionamento Comercial	8,93%
Tecnologia da informação	4,31%
Planejamento e Acompanhamento da Arrecadação	3,97%
Telecomunicações	3,37%
Execução de Serviços Comerciais	3,18%
Execução da Operação	3,18%
Estudos e Projetos de Expansão	2,73%
Recursos Humanos	2,46%
Planejamento e Acompanhamento da Operação	2,41%
Planejamento e Acompanhamento da Manutenção	1,88%
Planejamento e Acompanhamento da Proteção à Receita	1,80%
Jurídico	1,68%
Comunicação	1,17%
Finanças e Tesouraria	0,82%
Planejamento da Expansão	0,80%
Logística	0,69%
Desenvolvimento Tecnológico e Inovação	0,68%
Sustentabilidade e Meio Ambiente	0,65%
Planejamento e Controle	0,60%
Suprimentos	0,57%
Administração e Governança Corporativa	0,51%
Contabilidade	0,45%
Regulação e Tarifas	0,31%
Controles Internos	0,21%
Planejamento da Compra e Venda de Energia	0,14%
Execução da Compra e Venda de Energia	0,10%
Relações com Investidores	0,04%

Fonte: (MATOS, 2014)

3.1 – Execução da manutenção

De acordo com Matos (2014), a execução da manutenção na distribuição é o principal processo de uma distribuidora de energia elétrica. Manter o sistema elétrico com suas linhas (usualmente, os profissionais do setor se referem aos ativos de 69 kV até 161 kV), redes (ativos de 34,5 kV ou menos) e subestações compreende executar as atividades mais características de uma distribuidora de energia elétrica. A execução da manutenção é separada em três grupos: manutenção em linhas de alta tensão; manutenção em subestações; e manutenção em redes de média/baixa tensão. Devido à diferença dos processos de execução da manutenção de linhas, redes e subestações; a gestão dos

Tabela 2 apresenta as gerências regionais com suas cidades-polo e a quantidade de municípios atendidos.

Tabela 2: Gerências regionais da Cemig D e a quantidade de municípios atendidos.

Sigla	Gerências Regionais	Quantidade Municípios
DV	Divinópolis	67
GV	Governador Valadares	87
IP	Ipatinga	52
JF	Juiz de Fora	43
MT	Metalúrgica	45
MP	Metropolitana	16
MC	Montes Claros	77
PR	Paracatu	23
PS	Passos	50
PM	Patos de Minas	26
PA	Pouso Alegre	73
SJ	São João Del Rey	67
TO	Teófilo Otoni	74
UR	Uberaba	29
UL	Uberlândia	17
VR	Varginha	58

Fonte: Matos (2014)

Conforme as entrevistas conduzidas com gestores realizadas por Matos (2014), as equipes de manutenção não se encontram somente nas sedes das gerências, mas espalhadas estrategicamente de acordo com posição das redes e dos consumidores no território de cada gerência regional. A variável mais importante para a determinação dos custos de execução da manutenção intuitivamente é a extensão da rede da distribuidora, medida em km². A existência da rede implica constante trabalho de manutenção corretiva e preventiva, tanto para o reestabelecimento de interrupções de energia quanto para a prevenção dessas interrupções. Assim, tanto nos trabalhos acadêmicos quanto

nos modelos de regulação para a distribuição de energia elétrica, o nível de tensão das redes é também apontado como um fator importante para determinação dos custos.

O custo de uma intervenção em uma rede de alta tensão é, em média, mais alto que a intervenção na baixa tensão, devido à dificuldade de acesso e à necessidade de equipamentos maiores e mais caros, além de equipes especializadas, dentre outros fatores. Porém, a baixa tensão exige uma frequência bem maior de intervenções, de modo que como direcionador de custo, provavelmente, a baixa tensão torne-se um fator mais determinante. A literatura e os modelos já aplicados à regulação de distribuição indicam a existência de custos bem diferentes para áreas urbanas e rurais. Ainda, supõe-se que os custos de atendimento a áreas com diferentes graus de urbanização comportam-se como uma curva em forma de “U”. Para áreas com urbanização muito intensa, os custos são muitos altos. Nas áreas urbanas, mas de menor adensamento que as metrópoles, os custos de manutenção são mais baixos. Por fim, nas áreas rurais o custo volta a subir muito (Matos, 2014).

Matos (2014) procedeu à análise dos drivers de custo do processo de manutenção de redes e utilizou uma matriz de correlação entre a variável custo e as demais variáveis apresentadas, de tal forma que as variáveis foram selecionadas por meio do método de *Best Subsets*, que compara todos os possíveis modelos usando um conjunto especificado de preditores e exibe os modelos mais bem ajustados que contêm um preditor, dois preditores, e assim por diante. O resultado final é um número de modelos e suas estatísticas resumo. Nesse método, pode ocorrer de os resultados não apontarem para um melhor modelo e o julgamento do pesquisador se fazer necessário.

A Tabela 3 apresenta os resultados deste método e identifica os drivers de custo encontrados por Matos (2014). São eles: quantidade de consumidores urbanos, quantidade de consumidores rurais, extensão total de rede (km), extensão de rede urbana (km), consumo Rural (MWh) e número de postes.

Tabela 3: Resultados do ajuste de modelos de regressão Cobb-Douglas aplicando o método *Best subsets* para a seleção de variáveis – variável dependente: logaritmo do custo de manutenção da rede por número de consumidores

Número de Variáveis	Variáveis independentes no modelo de regressão Cobb-Douglas	R ² _{adj}
1	consumidores	57,37%
	consumidores.urbanos	50,27%
	rede.urbana	29,46%
2	consumidores + consumidores.rural	63,26%
	consumidores.urbano + consumidores.rural	63,17%
	consumidores + rede	63,14%
3	consumidores.urbano + consumidores.rural + consumo.rural	63,81%
	consumidores.urbano + consumidores.rural + rede	63,76%
	consumidores + consumidores.rural + rede.urbana	63,74%
4	consumidores.urbano + consumidores.rural + rede + numero.postes.rural	64,95%
	consumidores + consumidores.rural + rede + numero.postes.rural	64,74%
	consumidores.urbano + consumidores.rural + rede + consumo.rural	64,65%
5	consumidores.urbano + consumidores.rural + rede + consumo.rural + log.npoles.R	65,50%
	consumidores + rede.urbana + rede.rural + numero.postes + numero.postes.urbano	65,18%
	consumidores + rede.urbana + rede.rural + consumo.rural + numero.postes	65,08%
6	consumidores.urbano + consumidores.rural + rede + rede.urbana + consumo.rural + numero.postes	65,70%

Fonte: (Matos, 2014)

Em seu trabalho, Matos (2014) conclui que a separação dos produtos considerados consumidores e redes, por sua localização, urbana ou rural, assume elevada importância, visto que se trata de ambientes que possuem características distintas, e por consequência, custos distintos. É possível perceber que em áreas rurais um problema frequente prende-se à dispersão dos clientes e à falta de pavimento asfaltado. Consequentemente, a conservação das estradas também é problemática. As equipes devem percorrer grandes distâncias para chegar até os locais de atendimento. Os veículos utilizados nesses locais exigem maior manutenção e maior investimento inicial. Entre outros problemas desse meio rural, seria possível destacar, conforme Matos (2014), casos de propriedades fechadas, falta de cobertura de celular necessária para fazer a comunicação das equipes com os

centros de operação, topografia acidentada e presença de rios, córregos e matas. Tudo isso torna a manutenção nessas áreas uma tarefa difícil e demorada.

4 METODOLOGIA

É possível dividir esta pesquisa em seis etapas. a) coleta dos dados quantitativos já existentes na Cemig; b) leitura e análise dos dados na busca por informações incoerentes; c) reanálise dos *drivers* de custo previamente identificados e a validação deles quanto à consistência; d) definição do modelo a ser utilizado e definição das variáveis utilizadas nesse modelo, para posterior cálculo da eficiência técnica das gerências regionais da Cemig D; e) elaboração e aplicação de um questionário sobre o impacto das variáveis ambientais nos gestores das 16 gerências regionais da Cemig D e, posteriormente, coleta das variáveis quantitativas mais significativas, na Cemig e nos bancos de dados Federais; f) a criação de um segundo estágio do modelo DEA, no qual foi testada a inclusão das variáveis ambientais apontadas pelos gestores no ajuste dos escores de eficiência resultantes da quarta etapa.

A metodologia utilizada para analisar os dados pode ser descrita como mista, a qual, de acordo com Creswell (2007), combina os métodos predeterminados das pesquisas quantitativas com métodos emergentes das qualitativas, assim como questões abertas e fechadas, com formas múltiplas de dado contemplando todas as possibilidades, incluindo análises estatísticas e análises textuais. Neste caso, os instrumentos de coleta de dados podem ser ampliados com observações abertas. Ainda de acordo com o autor, no método misto o pesquisador conduz a investigação supondo que a coleta de diversos tipos de dados é suficiente para garantir um entendimento melhor do problema pesquisado.

De acordo com Creswell (2007), existem quatro aspectos importantes que devem ser considerados: *timing*, *weighting*, *mixing* e *theorizing*. Ao tratar de *timing*, o autor faz referência à sequência de coleta dos dados. Nesta dissertação, a coleta quantitativa ocorreu antes e depois da qualitativa. O *timing* trata da melhor escolha para a administração do tempo de pesquisa, sendo esta primeiramente sequencial quantitativa. Nesta etapa, dedicou-se, primeiramente, tempo para a análise quantitativa dos dados anteriormente elaborados e apresentados como resultado na dissertação de Matos (2014) e, posteriormente, a elaboração do que se desejava buscar qualitativamente por meio do questionário. *Weighting* é o fator referente ao peso ou prioridade dada ao interesse primordial do pesquisador, sendo que neste caso tanto o qualitativo como o quantitativo podem ser considerados iguais em peso. *Mixing* trata de como e quando fazer a mistura dos dados

qualitativos e quantitativos, sendo que estes podem ser feitos por integração, conexão ou por imersão dos dados. Neste caso, optou-se por uma imersão dos dados qualitativos nas pesquisas quantitativas anteriormente já realizadas. A partir do embasamento quantitativo, pretende-se fazer inferências sobre as respostas do questionário. *Theorizing* trata da teorização feita e do modo como ela é feita, além de sua discussão e uso. Divide-se em implícito ou explícito. Neste caso, optou-se pela utilização explícita. Ou seja, objetiva-se aqui a clara utilização das teorias.

O *timing* do método de pesquisa também poderia ser comparado ao que Morse (1991) classifica como “design sequencial explicativo”, que é especialmente útil quando resultados inesperados surgem de um estudo quantitativo. Primeiramente, procede-se à coleta e à análise dos dados quantitativos, depois dos qualitativos.

Considerando que se fez necessária a reanálise dos dados propostos por Matos (2014), é possível afirmar que a coleta dos dados ocorreu primordialmente pela parte quantitativa, sendo os qualitativos posteriormente coletados por meio de questionários elaborados e validados com a Gerência de Custos da CEMIG. Como o processo de seleção e tratamento dos dados mais significativos e aplicáveis a serem utilizados para a segunda parte quantitativa das variáveis ambientais demanda tempo de busca e posterior análise, dispendeu-se também considerável tempo na elaboração do questionário.

A coleta dos dados qualitativos se deu por meio de *survey*. De acordo com Pinsonneault e Kraemer (1993), é possível definir pesquisa *survey* como a obtenção de dados ou informações a respeito das características ou opiniões de determinado grupo, por meio de um instrumento de pesquisa, sendo este normalmente um questionário. Segundo Freitas (1999), a *survey* também é apropriada como forma de pesquisa quando não é possível controlar as variáveis dependentes e independentes, sendo que o ambiente natural é a melhor situação para se estudar o fenômeno de interesse.

É possível classificar, de acordo com Pinsonneault e Kraemer (1993), o propósito de elaboração dessa *survey* como explanatório, cujo objetivo é testar uma teoria, ou suposição nesse caso, previamente estabelecida e suas relações causais, questionando e validando a existência delas. A coleta de dados se deu de modo longitudinal, visto que ocorreu ao longo do tempo em períodos específicos em que se também buscou estudar a relação entre as variáveis.

4.1 Dados existentes e proposição de modelo *DEA*

Para o cumprimento da primeira etapa – coleta dos dados quantitativos já existentes, na Cemig e levantados por Matos (2014) – os Quadros 1 e 2 mostram as variáveis analisadas para a determinação dos *drivers* de custo dos processos de manutenção de redes. As variáveis podem ser divididas em cinco grandes grupos: número de consumidores; consumo; comprimento de rede; dados socioeconômicos e outras diversas variáveis. Este último grupo abrange variáveis consideradas interessantes de se incluir no modelo para fins de análise.

Quadro 1: Principais variáveis da Cemig D para manutenção de redes: número de consumidores, consumo e comprimento de rede

Numero de consumidores	Consumo	Comprimento de rede
Total de consumidores	Consumo Total	Rede Total
Consumidores Urbanos	Consumo Urbano	Rede Urbana Total
Consumidores Rurais	Consumo Rural	Rede Rural Total
Consumidores A2	Consumo A2	Rede Urbana Aérea
Consumidores A3	Consumo A3	Rede Urbana Isolada
Consumidores A4	Consumo A4	Rede Urbana Protegida
Consumidores AS	Consumo AS	Rede Urbana Subterrânea
Consumidores B	Consumo B1	Rede Urbana Outros
Consumidores B1	Consumo B2	Rede Rural Aérea
Consumidores B2	Consumo B3	Rede Rural Isolada
Consumidores B3	Consumo B4	Rede Rural Protegida
Consumidores B4	Consumo Urbano A2	Rede Rural Outras
Consumidores Urbanos A2	Consumo Urbano A3	
Consumidores Urbanos A3	Consumo Urbano A4	
Consumidores Urbanos AS	Consumo Urbano AS	
Consumidores Urbanos A4	Consumo Urbano B1	
Consumidores Urbanos B	Consumo Urbano B2	
Consumidores Urbanos B1	Consumo Urbano B3	
Consumidores Urbanos B2	Consumo Urbano B4	
Consumidores Urbanos B3	Consumo Rural A3	
Consumidores Urbanos B4	Consumo Rural A4	
Consumidores Rurais A3	Consumo Rural AS	
Consumidores Rurais A4	Consumo Rural B1	
Consumidores Rurais AS	Consumo Rural B2	
Consumidores Rural B	Consumo Rural B3	
Consumidores Rurais B1	Consumo Rural B4	
Consumidores Rurais B2		
Consumidores Rurais B3		
Consumidores Rurais B4		

Fonte: Dados da pesquisa

Os dados acima foram coletados para o período de 2010 a 2012. A estratificação de consumidores urbanos e rurais e por nível de tensão ocorreu na busca por características mais relevantes e específicas.

Quadro 2: Principais variáveis da Cemig D para manutenção de redes: "outras" e "socioeconômica"

Outras	Socioeconômica
Consumo médio	Proporção de famílias que recebem menos de meio salário
Densidade de consumidores	Proporção da população com média de um salário
DEC - Duração Equivalente de Interrupção	Proporção de população desempregada
FEC - Frequência Equivalente de Interrupção	Salário médio
Densidade de Raios	Proporção de população com primário incompleto
Chuva	Proporção de população com graduação
Taxa de queda de árvore	Proporção de população com suprimento de água
Número de postes Totais	Medida de mortes por agressão nos municípios
Número de postes Urbanos	
Número de postes Rurais	
Distância entre postes total	
Distância entre postes Urbanos	
Distância entre postes Rurais	
Total de estradas	
Total de estradas pavimentadas	
Total de estradas não pavimentadas	
Média de religador por alimentador	
Proporção de cidades com dupla alimentação	
Percentual de depreciação	

Fonte: Dados da pesquisa

Para a segunda etapa - leitura e análise dos dados na busca por informações incoerentes (assim como a validação deles quanto à veracidade - os dados fornecidos pela Cemig foram inicialmente analisados investigando se poderiam existir incoerências ou dados faltantes. Verificou-se que para a variável taxa de queda de árvore não existem dados para 2010, o que reduziria a análise dessa informação para 2011 e 2012. Todas as variáveis restantes apresentaram completude nos dados.

Na terceira etapa – reanálise dos drivers de custo proposto por Matos (2014) e a validação deles quanto a consistência – os cálculos definitivos referentes à análise estatística dos drivers de custos foram realizados novamente, a fim de procurar garantir os mesmos resultados encontrados.

A quarta etapa – definição dos modelos a serem utilizados no primeiro estágio (DEA VRS, DEA CRS e supereficiência em DEA CRS), no segundo estágio (método dos mínimos quadrados e Tobit), e definição das variáveis utilizadas nos modelos iniciais, para cálculo da eficiência técnica das gerências regionais da Cemig D. Começamos a partir de um sistema de descrição do insumo utilizado (PMSO), das características contextuais, possivelmente, afetando a transformação de insumo em produtos (estratificação entre rural e urbano considerada como relevante) e dos produtos produzidos (comprimento de rede total, comprimento de rede urbana, número de consumidores rurais, número de consumidores urbanos, consumo rural em MWh e número de postes totais). Foi, então, realizada uma análise comparativa entre as gerências regionais quanto a seus insumos e produtos no modelo DEA de eficiência em custos.

4.2 Método de coleta dos dados qualitativos

A quinta etapa – elaboração e aplicação de um questionário sobre o impacto das variáveis ambientais nos gestores das 16 gerências regionais da Cemig D e posteriormente, a coleta das variáveis quantitativas mais significativas na Cemig e nos bancos de dados federais – contemplou a coleta de dados por meio de *survey*, de tal forma que a composição do processo compreendeu um questionário de avaliação e 1 ciclo de construção do modelo. A elaboração desses questionários é fundamental para que as respostas obtidas sejam checadas com as análises estatísticas e para que as variáveis utilizadas no segundo estágio de análise de *DEA* estejam fundamentadas. Esse modelo, feito com o intuito de corrigir os escores do primeiro estágio de *DEA*, devido à influência da variável ambiental mais impactante, identifica as DMUs com as maiores eficiências corrigidas, para mostrar mais claramente por onde seria mais eficiente e proveitoso o início da identificação de melhores práticas, assim como o início de uma auditoria operacional, na busca da identificação de outros possíveis motivos que causem ineficiências nas DMUs menos eficientes.

O questionário foi elaborado a partir do Google Docs, em que os gestores responderam de forma online e sem a necessidade de enviar e receber arquivos editáveis, aumentando a fidelidade, a originalidade e o acesso aos dados, caso necessário.

A Figura 13 representa a lógica proposta para a identificação das variáveis ambientais que mais impactam as gerências, assim como a identificação do mais impactante dos fatores. Em um modelo lógico, inicialmente deve-se identificar se o que se deseja buscar é o efeito da ocorrência ou da não ocorrência da variável. Posteriormente, é preciso identificar se ela afeta ou não os custos. Se não

afetar, não há razão para seguir adiante com o estudo dela. Em caso positivo, é necessário identificar se a variável afeta e aumenta os custos ou afeta e diminui os custos. Se a variável diminuir os custos, ela é benéfica, e as gerências que se beneficiam dela logicamente possuem vantagens no ganho de eficiência. No caso de a variável aumentar os custos, as gerências que sofrem com ela são penalizadas com a perda de eficiência. Não é objeto de estudo desta dissertação a identificação e análise de fatores ambientais que gerariam ganhos de eficiência, visto que a linha de estudos sobre energia elétrica na literatura, usualmente, tem seu foco sobre na perda de eficiência pelos fatores ambientais. O quarto nível de análise lógica da influência das variáveis deve-se à identificação se a variável impacta de forma significativa os custos e, finalmente, dentre os fatores que impactam de forma significativa, qual deles é o mais impactante. A partir daí, é possível identificar a variável ambiental mais importante a ser incluída no modelo.

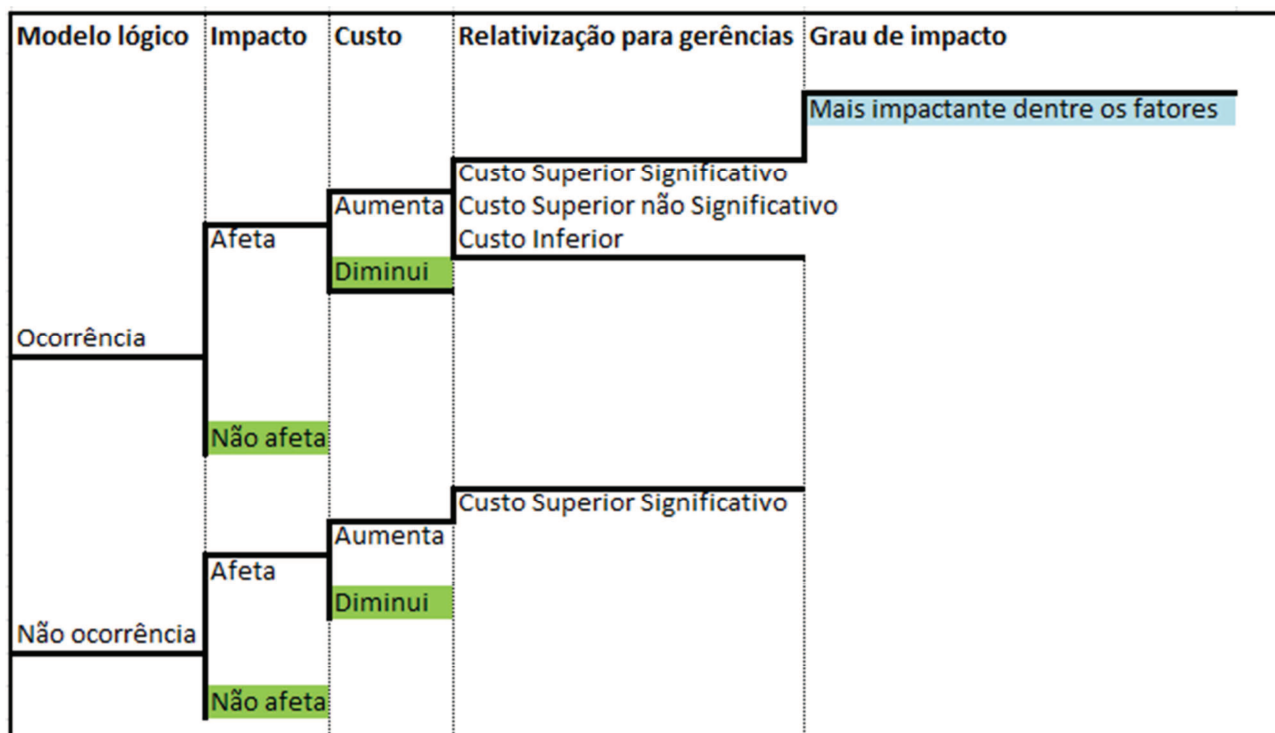


Figura 13: Sequência lógica para identificação das variáveis ambientais mais impactantes

Fonte: Elaborado pelo autor

As variáveis identificadas pelos gestores como as mais impactantes e que não estavam inclusas no banco de dados de Matos (2014), foram buscadas na Cemig ou em bancos de dados federais. A análise de validação e sanidade foi realizada novamente para esses dados. A coleta de dados dessas

variáveis se fez a partir das cidades polo. Quando não se encontraram disponíveis, foram selecionadas outras cidades-polo para a regional, como identificado no mapa da Figura 5. Quando, mesmo assim, não foi encontrada nenhuma informação sobre as cidades-polo das regionais, selecionou-se a cidade com maior número de habitantes disponível.

A sexta etapa –Aplicação do modelo de segundo estágio utilizando a metodologia de mínimos quadrados e regressão Tobit, no qual foram testadas a inclusão das variáveis ambientais apontadas pelos gestores no ajuste dos escores de eficiência resultantes da quarta etapa - possibilitou a correção do escore de eficiência das gerências, para aquela variável ambiental. Anteriormente à execução desse modelo, foi necessário realizar o tratamento dos novos dados. Ao realizar o download desses dados, foi necessário verificar os *outliers* que poderiam ser derivados de erros de digitação ou de softwares na transformação necessária das diferentes extensões nas quais o banco de dados foi salvo. Para o segundo estágio, como foi necessária somente a média total referente aos dados, foi possível diluir os dados faltantes referentes a alguns períodos.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Modelo de eficiência DEA

Com base nos *drivers* de custo previamente identificados por Matos (2014) como os fatores que melhor representam os gastos da Cemig D para o processo de manutenção de redes, elaborou-se o modelo de eficiência utilizando os seguintes modelos: DEA CRS, regressão por Tobit e Método dos mínimos quadrados. Todos os modelos foram orientados à redução dos *inputs*. O *input* deste modelo é o custo operacional das gerências regionais, enquanto que os *ouputs* são: comprimento de rede total; comprimento de rede urbana; número de consumidores rurais; número de consumidores urbanos; Consumo rural em MWh; e número de postes totais. Os resultados é apresentado na Figura 14.

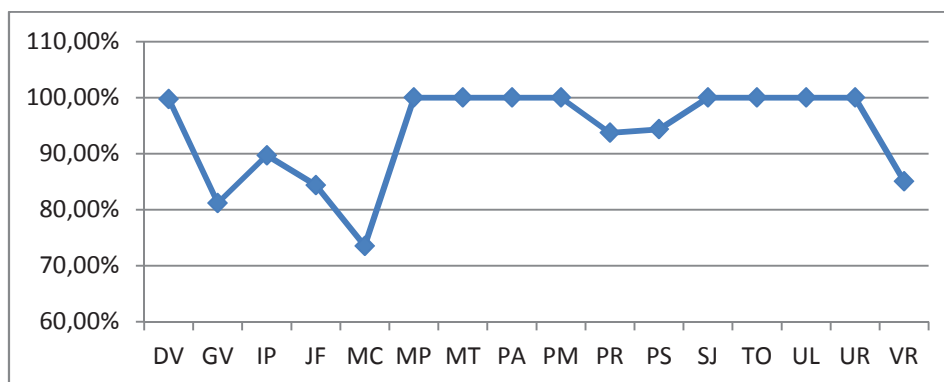


Figura 14: Escores de eficiência das gerências no modelo CRS

DV – Divinópolis; GV – Governador Valadares; IP – Ipatinga; JF – Juiz de Fora; MC – Montes Claros; MP – Metropolitana; MT – Metalúrgica; PA – Pouso Alegre; PM – Patos de Minas; PR – Paracatu; PS – Passos; SJ – São João Del Rey; TO – Teófilo Otoni; UL – Uberlândia; UR – Uberaba; VR – Varginha

Verifica-se por meio da análise dos escores de eficiência na Figura 15 que existem oito gerências regionais que não operam sob a fronteira CRS, isto é, podem ter seus custos reduzidos: Divinópolis, Governador Valadares, Ipatinga, Juiz de Fora, Montes Claros, Paracatu, Passos e Varginha. Para que estas gerências alcancem a fronteira definida pelas demais gerências com escore de 100% estas devem reduzir seus custos(PMSO).

5.2 Resultado do Questionário com Gestores

A Tabela 4 apresenta o resultado do questionário (Apêndice I) de 24 afirmativas formuladas aos gestores das 16 gerências regionais da Cemig D. As perguntas referentes às mesmas variáveis ambientais são apresentadas lado a lado, de tal forma que, primeiramente, pergunta-se sobre o impacto da variável nos processos de manutenção e, posteriormente, sobre o custo do impacto daquela variável em relação às demais gerências. As legendas apresentadas aos gestores, foram subdivididas em “Concordo totalmente”; “Concordo parcialmente”; “Não concordo nem discordo”; “Discordo parcialmente”; e “Discordo totalmente”.

Tabela 4: Respostas do questionário

Perguntas	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
1. O excesso de chuva ocorre em alguns períodos do ano afetando e aumentando o custo dos processos de operação e manutenção.	11	5	0	0	0
2. A gerência em questão apresenta, nos processos de operação e manutenção de redes, custos superiores em relação às demais gerências devido ao excesso de chuva e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	5	7	0	2	2
3. Os ventos afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção.	11	5	0	0	0
4. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido aos ventos e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	3	7	1	4	1
5. As descargas elétricas afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção.	11	5	0	0	0
6. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido às descargas elétricas e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	4	7	0	4	1
7. Altas temperaturas médias anuais afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção	6	4	3	2	1
8. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido às temperaturas médias anuais e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	4	1	5	3	3

Perguntas	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
9. A variação do relevo afeta e aumenta o custo dos processos de operação e manutenção de redes das áreas rurais.	11	4	1	0	0
10. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido ao relevo e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	3	5	4	2	2
11. A área de atendimento em km ² de uma gerência impacta os custos de operação e manutenção.	13	2	0	1	0
12. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido à área de atendimento em km ² e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	5	5	3	0	3
13. Com relação à qualidade das estradas pode-se afirmar que conforme aumenta o percentual de estradas asfaltadas em uma gerência reduz-se os custos dos processos de operação e manutenção.	11	3	1	1	0
14. A gerência em questão apresenta custos superiores devido à má qualidade das estradas e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	4	6	1	4	1
15. A heterogeneidade dos recursos referentes a fatores tecnológicos "hard" (equipamentos, veículos), altera o custo dos processos de operação e manutenção de redes.	13	2	1	0	0
16. A gerência em questão apresenta custos superiores nos processos de operação e manutenção devido a fatores tecnológicos "hard" (equipamentos, veículos) e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	6	4	3	2	1

Perguntas	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
17. A heterogeneidade dos recursos referentes a fatores tecnológicos "soft" (procedimentos, treinamentos), altera o custo dos processos de operação e manutenção de redes.	9	6	1	0	0
18. A gerência em questão apresenta custos superiores nos processos de operação e manutenção devido a fatores tecnológicos "soft" (procedimentos, treinamentos) e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	4	3	4	3	2
19. O excesso de vegetação afeta e aumenta o custo dos processos de operação e manutenção	12	3	0	1	0
20. A gerência em questão apresenta custos superiores significativos em relação às demais gerências devido a vegetação e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	5	4	3	1	3
21. As ações referentes à redução das perdas Técnicas melhoram o atendimento operacional e reduzem o custo dos processos de manutenção.	5	7	2	1	1
22. A gerência em questão apresenta comparativamente a outras gerências grau elevado de perda técnica.	2	1	9	1	3
23. O excesso de violência na gerência regional em questão tem como consequência aumento do custo dos processos de operação e manutenção de redes.	3	5	1	5	2
24. A gerência regional em questão apresenta custos superiores devido à violência, que atrapalha os processos de operação e manutenção de redes e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.	2	1	3	3	7

De acordo com as respostas dos gestores ao questionário de *benchmarking* de manutenção das redes de distribuição de energia elétrica, resumam-se nas Figuras 15 e 16 as respostas de dois tipos de perguntas para a concordância ou não dos gestores. As perguntas tipo A são identificadas no questionário por meio de números ímpares que vão de 1 a 23 e eles buscam identificar a quantidade de gestores que concordam, em algum grau, que as variáveis impactam e causam aumento dos custos nos processos de manutenção de redes.

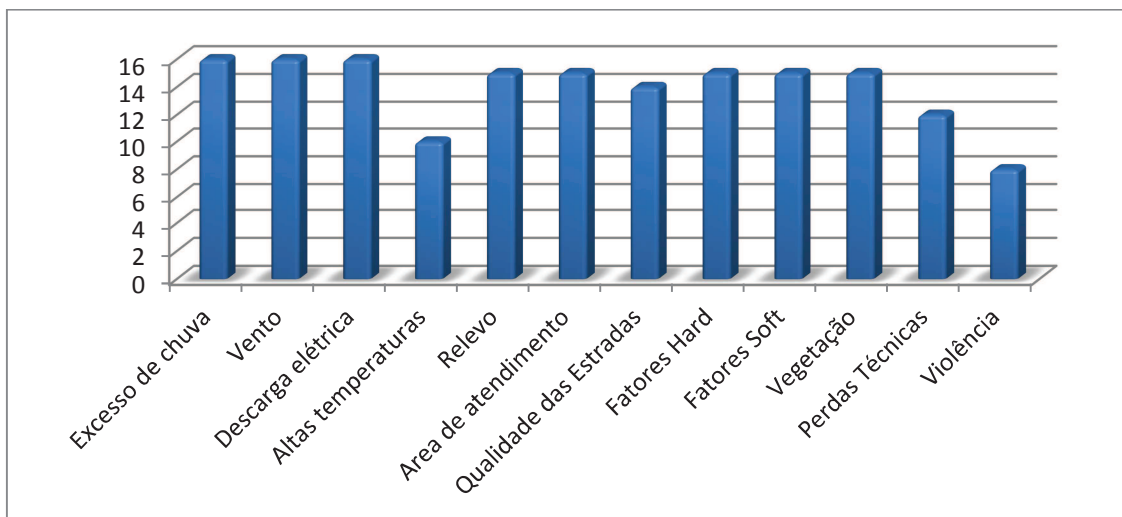


Figura 15: Perguntas Tipo A

Fonte: Dados de pesquisa

As perguntas tipo B são identificadas no questionário por meio dos números pares, que vão de 02 a 24 e buscam identificar a quantidade de gestores que afirmam que a variável ambiental em questão tem um maior impacto no custo dos processos de manutenção de sua gerência quando comparado com as demais.

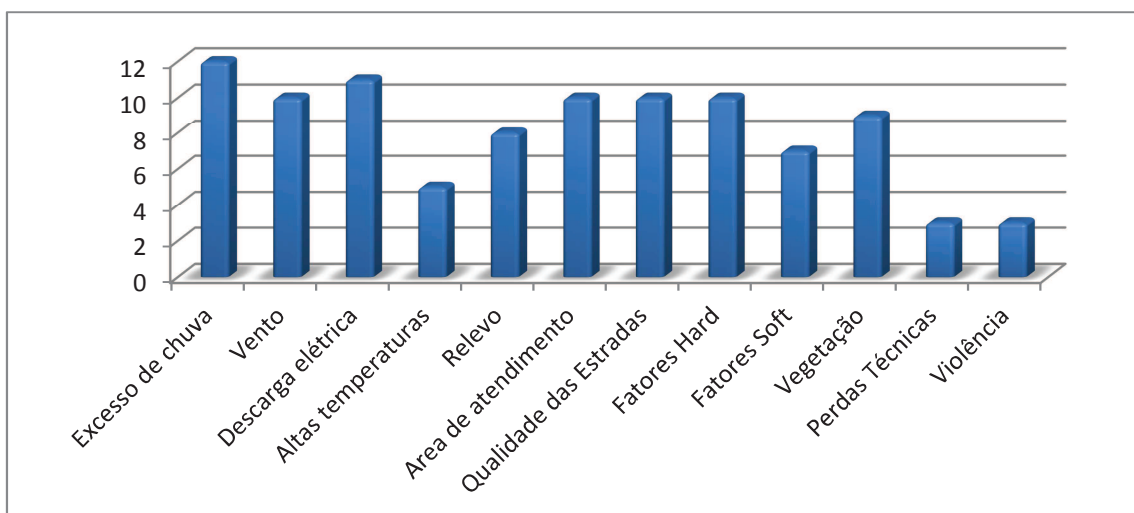


Figura 16: Perguntas tipo B

Fonte: Dados de pesquisa

A Figura 15 revela que é possível afirmar que as variáveis ambientais que mais impactam de alguma forma, os custos dos processo de manutenção de redes das gerências, na opinião dos gestores são :

a) Excesso de chuva em alguns períodos, Descargas elétricas e Ventos

b) Relevô, Área de atendimento, Fatores *hard*, Fatores Soft e Vegetação

Ao fazer referência aos fatores *hard* é possível destacar os equipamentos e veículos utilizados. Já os fatores *soft* se referem aos procedimentos e treinamentos. A Tabela 5 faz referência somente às variáveis nomeadas aqui de tipo A, as quais se referem ao parecer dos gestores quanto à identificação da influência da variável no processo de manutenção de redes de distribuição de energia elétrica. O resultado das perguntas está dividido em: “Concordo totalmente”, “Concordo parcialmente”, “Não concordo nem discordo”, “Discordo parcialmente” e “Discordo totalmente”.

Tabela 5: Sumário das perguntas tipo A

Pergunta N.	Variável analisada	Concorda totalmente	Concorda parcialmente	Não concorda nem discorda	Discorda parcialmente	Discorda totalmente
1	Excesso de chuva em alguns períodos	11	05			
3	Vento	11	05			
5	Descarga elétrica	11	05			
7	Altas temperaturas	06	04	03	02	01
9	Relevo	11	04	01		
11	Área de atendimento	13	02		01	
13	Qualidade das Estradas	11	03	01	01	
15	Fatores Hard	13	02	01		
17	Fatores Soft	09	06	01		
19	Vegetação	12	03		01	
21	Perdas Técnicas	05	07	02	01	01
23	Violência	03	05	01	05	02

Fonte: Dados de pesquisa

De acordo com a Tabela 5, é possível realizar outra análise. Criando um sistema de pontuação a partir do número de gestores e afirmações, em que “Concordo totalmente” possui valor 2, “Concordo parcialmente” possui valor 1, “Não concordo nem discordo” possui valor 0, “Discordo parcialmente” possui valor -1 e “Discordo totalmente” possui valor -2, é possível gerar uma soma final dos valores por afirmativa, em que aquelas com maior pontuação possuiriam maior importância.

Tabela 6: Pontuação para avaliar impacto das variáveis

Pergunta N.	Variável analisada	Pontuação
1	Chuva	27
3	Vento	27
5	Descarga elétrica	27
7	Altas temperaturas	12
9	Relevo	26
11	Área de atendimento	27
13	Qualidade das Estradas	24
15	Fatores Hard	28
17	Fatores Soft	24
19	Vegetação	26
21	Perdas Técnicas	14
23	Violência	2

Fonte: Dados de pesquisa

Como pode ser visto na Tabela 6, os fatores mais impactantes nos processos de manutenção de redes, podem ser descritos em ordem decrescente da seguinte forma:

- a) Fatores *Hard*
- b) Área de atendimento, Excesso de chuvas em alguns períodos, Ventos e Descargas elétricas

Como base nos dois tipos de análise a partir das respostas do questionário, é possível perceber que as variáveis mais impactantes nos processos de manutenção de rede podem ser identificadas como Fatores Hard, Excesso de chuvas em alguns períodos, Ventos, descargas elétricas e área de atendimento.

A Tabela 7 faz referências às variáveis tipo B, as quais se referem à opinião dos gestores quanto à influência superior da variável ambiental em sua gerência em relação as demais gerências quanto ao custo dos processo de manutenção de redes.

Tabela 7: Sumário das perguntas tipo B

Pergunta N.	Variável analisada	Concorda totalmente	Concorda parcialmente	Não concorda nem discorda	Discorda parcialmente	Discorda totalmente
2	Excesso de chuva em alguns períodos	5	7	0	2	2
4	Vento	3	7	1	4	1
6	Descarga elétrica	4	7	0	4	1
8	Altas temperaturas	4	1	5	3	3
10	Relevo	3	5	4	2	2
12	Área de atendimento	5	5	3	0	3
14	Qualidade das Estradas	4	6	1	4	1
16	Fatores Hard	6	4	3	2	1
18	Fatores Soft	4	3	4	3	2
20	Vegetação	5	4	3	1	3
22	Perdas Técnicas	2	1	9	1	3
24	Violência	2	1	3	3	7

Fonte: Dados de pesquisa

A Tabela 7 será utilizada com objetivo de comparar a influência das variáveis ambientais identificada por método quantitativo com as respostas dos gestores. É interessante observar que em vários itens, as gerências consideram que o meio ambiente possui um impacto maior em suas gerências do que nas demais.

5.3 Análise estatística descritiva das variáveis ambientais

Para analisar as variáveis ambientais, primeiro apuraram-se as mais impactantes na opinião dos gestores, de acordo com as respostas ao questionário (Apêndice 1); posteriormente, aquelas que já existiam no banco de dados da Cemig D; e, por fim, aquelas que estariam disponibilizadas em bancos de dados governamentais. As variáveis *altas temperaturas* e *violência* foram descartadas pelo fato de que menos de 50% dos gestores concordaram totalmente que elas causam impacto no processo de manutenção de redes. As variáveis, *fatores hard*, *fatores soft* e *perdas técnicas* foram descartadas por não serem ambientais. Para a variável *relevo* não foi encontrado banco de dados que representasse as gerências. Para a variável *chuvas*, foi encontrado banco de dados. Para a variável *descargas elétricas* e *vegetação* foram utilizados como *proxys* a densidade de descargas elétricas e taxa de queda de árvore. Para a variável *ventos* foram encontrados dados em órgão federal. As variáveis *área de atendimento* e *qualidade das estradas* foram inseridas na análise por possuírem relevância na convergência de respostas quanto ao impacto delas nas gerências e por existir banco de dados disponível.

A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva para a variável ambiental *velocidade dos ventos* para cada gerência. Como é possível verificar, existem 35 amostras mensais referentes à amostra da gerência de Juiz de Fora e Ipatinga e 22 referentes a Pouso Alegre diferente das 36 amostras das demais gerências. É perceptível que o menor valor, referente a *velocidade dos ventos* se encontra em Pouso Alegre (0,204) e a maior em Paracatu (3,774). A maior média se encontra em Juiz de Fora (2,666) e o maior desvio-padrão em Ipatinga (0,098).

Tabela 8: Estatística descritiva para a variável Velocidade dos ventos

Gerência	N	Mínimo (m/s)	Máximo (m/s)	Média (m/s)	Desvio Padrão
DV	36	1,667	2,643	2,174	0,039
GV	36	0,286	2,250	1,078	0,085
IP	35	1,000	3,308	1,798	0,098
JF	35	1,880	3,505	2,666	0,052
MC	36	0,909	3,235	1,700	0,084
MP	36	0,818	2,368	1,622	0,064
MT	36	1,370	2,527	1,735	0,048
PA	22	0,204	1,111	0,519	0,052
PM	36	0,895	1,333	1,004	0,011
PR	36	1,613	3,774	2,416	0,079
PS	36	0,844	1,935	1,252	0,044
SJ	36	0,333	1,622	0,924	0,051
TO	36	0,322	0,944	0,553	0,029
UL	36	0,167	0,588	0,378	0,020
UR	36	0,500	2,656	1,126	0,087
VR	36	1,056	3,600	2,359	0,096

DV – Divinópolis; GV – Governador Valadares; IP – Ipatinga; JF – Juiz de Fora; MC – Montes Claros; MP – Metropolitana; MT – Metalúrgica; PA – Pouso Alegre; PM – Patos de Minas; PR – Paracatu; PS – Passos; SJ – São João Del Rey; TO – Teófilo Otoni; UL – Uberlândia; UR – Uberaba; VR – Varginha

A Tabela 9 apresenta estatística descritiva para a variável ambiental *taxa de queda de árvore*. Existem apenas 24 amostras para cada gerência, visto que não existem mais informações disponíveis. É perceptível que o menor valor, referente à *taxa de queda de árvore* encontra-se em Patos de Minas e Paracatu (0,016) e a maior em Metropolitana (1,663). A maior média se encontra em Metropolitana (0,867) e o maior desvio-padrão também (0,082).

Tabela 9: Estatística descritiva para a variável *Taxa de queda de árvores*

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
DV	24	0,079	0,372	0,185	0,018
GV	24	0,049	0,199	0,124	0,009
IP	24	0,075	0,336	0,193	0,016
JF	24	0,054	0,544	0,197	0,023
MC	24	0,024	0,101	0,053	0,004
MP	24	0,348	1,663	0,867	0,083
MT	24	0,110	0,456	0,283	0,024
PA	24	0,053	0,336	0,168	0,016
PM	24	0,016	0,095	0,046	0,004
PR	24	0,016	0,107	0,048	0,005
PS	24	0,038	0,212	0,104	0,010
SJ	24	0,075	0,341	0,179	0,015
TO	24	0,034	0,159	0,071	0,006
UL	24	0,024	0,119	0,068	0,006
UR	24	0,021	0,091	0,055	0,004
VR	24	0,046	0,280	0,134	0,011

DV – Divinópolis; GV – Governador Valadares; IP – Ipatinga; JF – Juiz de Fora; MC – Montes Claros; MP – Metropolitana; MT – Metalúrgica; PA – Pouso Alegre; PM – Patos de Minas; PR – Paracatu; PS – Passos; SJ – São João Del Rey; TO – Teófilo Otoni; UL – Uberlândia; UR – Uberaba; VR – Varginha

A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva para a variável ambiental *densidade de raios*, para a qual existem 36 amostras disponíveis, ou seja, 1 média para cada mês do ano. É perceptível que o menor valor referente a esta variável não existe, visto que o mínimo de todas as cidades é igual a 0 e que a maior densidade de raios é percebida em Juiz de Fora (2,926), sendo a maior média também percebida em Juiz de Fora (0,304), assim como o maior desvio-padrão (0,111).

Tabela 10: Estatística descritiva para a variável Densidade de raios

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
DV	36	0,000	1,298	0,170	0,050
GV	36	0,000	0,118	0,019	0,005
IP	36	0,000	0,539	0,068	0,021
JF	36	0,000	2,926	0,304	0,111
MC	36	0,000	0,062	0,013	0,003
MP	36	0,000	0,694	0,143	0,031
MT	36	0,000	0,480	0,090	0,021
PA	36	0,000	2,327	0,249	0,090
PM	36	0,000	0,455	0,120	0,023
PR	36	0,000	0,212	0,071	0,013
PS	36	0,000	0,651	0,149	0,028
SJ	36	0,000	1,739	0,207	0,066
TO	36	0,000	0,050	0,007	0,002
UL	36	0,000	0,559	0,122	0,023
UR	36	0,000	0,878	0,171	0,034
VR	36	0,000	2,417	0,241	0,092

DV – Divinópolis; GV – Governador Valadares; IP – Ipatinga; JF – Juiz de Fora; MC – Montes Claros; MP – Metropolitana; MT – Metalúrgica; PA – Pouso Alegre; PM – Patos de Minas; PR – Paracatu; PS – Passos; SJ – São João Del Rey; TO – Teófilo Otoni; UL – Uberlândia; UR – Uberaba; VR – Varginha

A Tabela 11 apresenta a estatística descritiva para a variável ambiental *chuvas*, para a qual existem 36 amostras disponíveis, ou seja, 1 média para cada mês do ano. É perceptível que o menor valor referente a essa variável se encontra em Montes Claros (2,080) e a maior em Metropolitana (454,471). A maior média se encontra em Juiz de Fora (140,465) e o maior desvio-padrão em Metropolitana (18,369).

Tabela 11: Estatística descritiva para a variável Chuvas

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
DV	36	3,056	444,039	135,538	18,241
GV	36	5,931	355,458	132,147	16,352
IP	36	2,915	430,827	134,196	18,055
JF	36	7,659	375,028	140,465	16,682
MC	36	2,080	348,183	131,300	18,360
MP	36	3,703	454,471	137,670	18,369
MT	36	2,786	418,487	133,601	17,989
PA	36	2,903	435,426	134,441	18,107
PM	36	2,714	411,772	133,522	18,013
PR	36	2,294	369,729	132,127	18,152
PS	36	2,749	414,797	133,515	17,990
SJ	36	2,901	431,914	134,244	18,070
TO	36	2,362	376,456	132,440	18,128
UL	36	2,753	419,050	133,657	18,012
UR	36	2,677	411,223	133,584	18,046
VR	36	2,900	430,814	134,165	18,053

DV – Divinópolis; GV – Governador Valadares; IP – Ipatinga; JF – Juiz de Fora; MC – Montes Claros; MP – Metropolitana; MT – Metalúrgica; PA – Pouso Alegre; PM – Patos de Minas; PR – Paracatu; PS – Passos; SJ – São João Del Rey; TO – Teófilo Otoni; UL – Uberlândia; UR – Uberaba; VR – Varginha

5.4 Análises de correlação

Foi realizada a análise da correlação entre os escores de eficiência DEA para o modelo CRS, com as variáveis: área sob responsabilidade de cada gerência, a qualidade das estradas e os dados referentes às variáveis ambientais que mais impactam os processos de manutenção de redes, de acordo com o ponto de vista dos gestores, são eles taxa de queda de árvore, Densidade de raios, Chuva e Vento. Os dados não foram segregados, optou-se por manter o conjunto de dados sem separá-los por ano ou por gerência. A falta de alguns de algumas medições com relação as variáveis ambientais no período de análise foi considerada. Devido a esses *gaps* de informação, optou-se por utilizar a média dos dados. No Apêndice 3 é possível encontrar a análise completa de correlação entre todas as variáveis.

5.4.1 Correlações do modelo CRS

Para o modelo de CRS orientado a insumos, estão apresentadas as correlações na tabela 12, onde a variável área, taxa de queda de árvores, densidade de raios e chuvas, apresentaram uma correlação positiva, quando o esperado das mesmas era uma correlação negativa:

Tabela 12: Correlação entre escores de eficiência e variáveis ambientais para o modelo CRS

Área	0,032283
Taxa de Qd.	
Arv.	0,209751
Dens. Raios	0,275005
Chuva	0,108445
Vento	-0,51578

Para o modelo CRS de supereficiência, as correlações de área, densidade de raios e velocidade dos ventos apresentaram uma correlação negativa com os escores de eficiência, como era de se esperar dessas variáveis. A Tabela 13 mostra esses resultados:

Tabela 13: Correlação entre escores de eficiência e variáveis ambientais para o modelo

Área	-0,1198
Taxa de Qd.	
Arv.	0,299411
Dens. Raios	-0,13764
Chuva	0,033703
Vento	-0,49593

5.5 Análise dos modelos de segundo estágio

Analisadas as correlações, inicia-se a inclusão da variável ambiental no modelo.

5.5.1 Análise do modelo CRS em segundo estágio por meio do método dos mínimos quadrados

O P-valor do método de mínimos quadrados foi calculado para o modelo de CRS e apresentado na Tabela 14. Verifica-se que a variável velocidade do vento é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%.

Tabela 14: P-valor para o segundo estágio do método CRS por meio do método de mínimos quadrados

Área	0,905525
Estr. não Pav.	0,416972
Taxa de Qd. Arv.	0,435579
Dens. Raios	0,302616
Chuva	0,689322
Vento	0,040849

Verificou que a correlação da variável vento com os escores em CRS é de -0,5158, o que se apresenta consistente quanto a lógica que o aumento da velocidade dos ventos prejudica os escores de eficiência das gerências. Ao realizar a regressão, verificou-se que valores superiores a 100% estavam presentes, como pode ser visto na Tabela 15. Devido a essa ocorrência, optamos continuar buscando outras opções por meio do modelo de supereficiência em CRS.

Tabela 15: Escores do segundo estágio de eficiência CRS por meio do método de mínimos quadrados

Gerência	Eficiência	Gerência	Eficiência
DV	89,77%	PM	93,17%
GV	92,98%	PR	88,09%
IP	92,32%	PS	96,14%
JF	86,47%	SJ	96,01%
MC	92,27%	TO	100,90%
MP	94,64%	UL	99,22%
MT	92,80%	UR	96,98%
PA	101,20%	VR	88,65%

5.5.2 Resultados do ajuste do modelo por Tobit

Considera-se aqui utilização do modelo para o ajuste dos escores de eficiência utilizando o modelo Tobit, onde é necessário estimar as variáveis latentes, que representam escores latentes maiores que 100%.

Tabela 16: Resultados do ajuste do modelo por Tobit

TOBIT univariado		
Variável	Coefficiente	p-valor
Área	-3,34E-04	0.832
Estradas não pavimentadas	-6,33E-02	0.527
Taxa de queda de árvores	0.12231	0.658
Densidade de raios	-0.08335	0.904
Chuva	-0.01463	0.396
Vento	-0.20505	0.0145

Os resultados na tabela 16 indicam que somente a variável ambiental vento é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%.

Os resultados do ajuste dos escores utilizando o modelo Tobit para a variável vento é apresentado na figura 17.

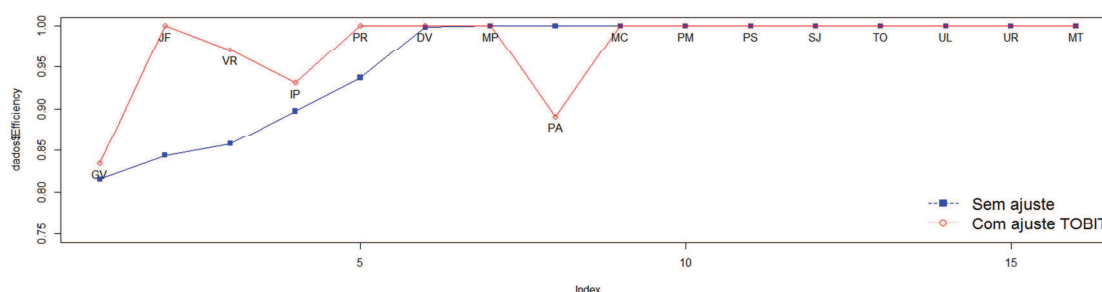


Figura 17: resultados do ajuste dos escores utilizando o modelo Tobit para a variável vento

6 CONCLUSÃO

Foi proposta a investigação dos processos de manutenção de redes das 16 gerências regionais das Cemig D e a influência das variáveis ambientais assim como a investigação da relevância dos fatores observáveis de ambiente, externos a empresa, para os custos da manutenção de redes, por meio de questionários enviados aos gestores das 16 gerências regionais.

O estudo teve início na identificação dos *drivers* de custo do processo de manutenção de redes sendo que foi utilizado o método de *Best-subset* além de uma análise crítica para identificação dos *drivers*. A partir da formalização matemática da influência desses *drivers* e da escolha correta da quantidade de variáveis permitidas para inclusão em um modelo DEA, foi criado um questionário com 27 perguntas a fim de avaliar o impacto do meio ambiente (variáveis externas) nesses processos e nos escore de eficiência. O questionário foi respondido por cada um dos gestores das 16 gerências da Cemig D. Os resultados do questionário foram avaliados e as variáveis ambientais mais impactantes nos escores de eficiência na opinião dos gestores foram analisadas em um segundo estágio. A variável vento foi identificada estatisticamente como a única variável significativa a ponto de explicar os escores, e assim ajustá-los através do segundo estágio por mínimos quadrados e Tobit.

O escore de eficiência com a utilização de Tobit se aproximou do modelo de regressão linear simples com supereficiência, porém se mostrou mais adequado, primeiramente devido a capacidade de apresentar um resultado plausível com um baixo valor-P e um menor número final de *benchmarks* ao comparado com o CRS de primeiro estágio. É válido salientar que o CRS de primeiro estágio não possui correção por variável ambiental, assim como apresenta uma menor capacidade de fornecer uma melhor ideia comparativa entre as DMUS quando comparado com o modelo Tobit de supereficiência em CRS no primeiro estágio.

Temos que para a variável “vento” 68,75% dos gestores concordaram totalmente que ela influencia os custos de manutenção de redes, e 31,25% dos gestores concordaram parcialmente com a afirmação. O resultado da variação na eficiência dos grupos quanto as afirmações tipo B podem ser vistas na Tabela 17:

Tabela 17: Variação dos escores do modelo CRS de supereficiência para as perguntas tipo B

Afirmção	Variação na eficiência
Concorda Totalmente	3,93%
Concorda Parcialmente	0,59%
Não concorda nem discorda	2,69%
Discorda parcialmente	-0,15%
Discorda totalmente	4,20%

Foi verificado que, na média, considerando a variação dos escores de supereficiência do primeiro para o segundo estágio, houve uma variação positiva de 3,93% nos escores daqueles que afirmaram que concordam totalmente que os ventos impactam seus custos de manutenção, o que pode ser um indicador do conhecimento do gestor dos fatores que impactam os seus custos de manutenção.

É possível perceber aumento médio de 0,59% nos escores de eficiência das gerências que afirmaram que concordam parcialmente que os ventos afetam seus custos de manutenção, o que mostra um comportamento médio de acordo quando comparado ao grupo que concorda totalmente. Verifica-se um aumento de 2,69% na eficiência do grupo que não concordou nem discordou que os ventos aumentam os custos de manutenção.

Ocorreu uma perda de 0,15% de eficiência para o grupo que afirmou que discorda parcialmente que os ventos afetam seus custos nos processos de manutenção, e houve um aumento de 4,20% no grupo que discordou totalmente da afirmativa.

Para trabalhos futuros é sugerido:

A atualização dos dados de uma forma geral para períodos mais atuais, assim como a atualização dos dados referentes a chuvas, visto que foi apontada como o fator ambiental mais relevante.

Identificação de possível banco de dados referente ao relevo junto a Cemig ou outros órgãos.

Elaboração de questionário a ser aplicado e distribuído aleatoriamente para funcionários operacionais de manutenção de redes dentro das gerências Cemig, com objetivo de obter outro ponto de vista, mais operacional.

Estudo das distâncias percorridas entre os atendimentos, como uma forma de aprofundar no estudo do impacto das áreas das gerências na eficiência operacional das mesmas.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. **Entenda a indústria de energia elétrica: Módulo 5 – Distribuição**, ABRADEE, 2013.

ABRADEE. **A distribuição de energia**. 2015. Disponível em < <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em 17/04/2015.

ABRAPCH. **Entenda melhor o setor de distribuição**. 2015. Disponível em <<http://abrapch.com.br/pequenas-usinas/entenda-melhor-o-setor>>. Acesso em 15/04/2015.

AIGNER, D.; LOVELL, C. K.; SCHMIDT, P. **Formulation and estimation of stochastic frontier production function models**. *journal of Econometrics*, Elsevier, v. 6, n. 1, p. 21–37, 1977.

ANDERSEN, Per; PETERSEN, Niels Christian. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. **Management science**, v. 39, n. 10, p. 1261-1264, 1993.

ANEEL. **Nota Técnica nº 065/2015–SRM/SGT/ANEEL**. 2015.

ANEEL. **Nota Técnica nº 066/2015–SRM/SGT/ANEEL**. 2015.

BABOVIĆ, Jovan et al. **Benchmarking as a function of competitiveness and efficiency in business**. *Економика пољопривреде*. Servia. 2012.

BANKER, Rajiv D. **Estimating most productive scale size using data envelopment analysis**. *European Journal of Operational Research*, v. 17, n. 1, p. 35-44, 1984

BANKER, Rajiv D. et al. **Returns to scale in different DEA models**. *European Journal of Operational Research*, v. 154, n. 2, p. 345-362, 2004.

BATTESE, George E.; COELLI, Tim J. **Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India**. Springer Netherlands, 1992.

BOGETOFT, Peter; OTTO, Lars. **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. Springer Science & Business Media, 2011.

BOGETOFT, Peter. **Comments on the Brazilian benchmarking model for energy distribution regulation Fourth cycle of tariff review – NT 192/2014**. 2014.

BOXWELL, R. **Benchmarking for a Competitive Advantage**. New York: McGraw Hill; 1994.

CHARNES, Abraham et al. **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications: Theory, Methodology and Applications**. Springer Science & Business Media, 1994.

CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). **Usinas da Cemig: A história da eletricidade em Minas Gerais**, 2005.

CEMIG. **Distribuição.** 2015. Disponível em < http://www.Cemig.com.br/pt-br/a_Cemig/nossos_negocios/Paginas/distribuicao.aspx>. Acesso em 20/04/2015.

CEMIG. **Manual de Gerenciamento de Energia.** 2011. Disponível em <[http://www.Cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/MANUAL%20DE%20GERENCIAMENTO%20DE%20ENERGIA%202011_BAIXA_16-01_LOS%20\(2\).pdf](http://www.Cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/MANUAL%20DE%20GERENCIAMENTO%20DE%20ENERGIA%202011_BAIXA_16-01_LOS%20(2).pdf)>. Acesso em 09/05/2015.

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

CHIAVENATO, Idalberto. Recursos humanos na Empresa: pessoas, organizações e sistemas. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

COELLI, Tim J. **A guide to FRONTIER version 4.1: A computer program for stochastic frontier production and cost function estimation.** CEPA Working papers, 1996.

COOK, Wade D.; ZHU, Joe. **Data envelopment analysis: Modeling operational processes and measuring productivity.** Charleston, SC: CreateSpace, 2008.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; TONE, Kaoru. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software.** Springer Science & Business Media, 2007.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. **Handbook on data envelopment analysis.** Springer Science & Business Media, 2011.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** Procedimentos de métodos mistos. 2. Ed. Porto Alegre. 2007

DAZA, Eric Fernando Boeck; STRÖHER, Jéferson Rodrigo; MANGONI, Luiz Alberto. **As intervenções do estado no setor elétrico – uma análise financeira.** Desenvolve, v. 4, n. 1, p. p. 09-22, 2015.

ECKERSON, Wayne W. **Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business.** John Wiley & Sons, 2010.

ELMUTI, Dean; KATHAWALA, Yunus. **An overview of benchmarking process: a tool for continuous improvement and competitive advantage:** Benchmarking for Quality Management & Technology, v. 4, n. 4, p. 229-243, 1997.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FERGUSON, C. E. **The neoclassical theory of production and distribution.** Cambridge: Cambridge University Press, 1971.

FONSECA, J.; REIS, L. **Empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Synergia Editora, 2012.

FØRSUND, Finn R.; LOVELL, CA Knox; SCHMIDT, Peter. **A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement**. Journal of econometrics, v. 13, n. 1, p. 5-25, 1980.

GUERRIERO, Carmine. **The political economy of incentive regulation: Theory and evidence from US states**. Journal of Comparative Economics, Volume 41, Issue 1, February 2013

HOFF, A. **Second stage dea: Comparison of approaches for modelling the dea score**. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 181, n. 1, p. 425–435, 2007. Citado 4 vezes nas páginas 39, 47, 48 e 50.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2011, Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>. Acesso em 20/04/2015.

IMA (Institute of management accountants). **Effective Benchmarking, Statements on Management Accounting**. Business performance management. 1995

JASMAB, T.; POLLIT, M. (2001). **Benchmarking and regulation: international electricity experience**. Utilities Policy, 9(3), 107-130.

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

LOPES, Ana Lúcia Miranda; LORENZETT, João Roberto; PEREIRA, Maurício Fernandes. **DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA GESTÃO ESTRATÉGICA**. Revista Universo Contábil, v. 7, n. 3, p. 77-94, 2011.

LAFFONT, Jean-Jacques; TIROLE, Jean. **A Theory of Incentives in Procurement and Regulation**. Massachusetts Institute of Technology. 1994.

MATOS, Giordano B. B., **Direcionadores de Custos de uma Distribuidora de Energia Elétrica**, 2014, Orientadora: Ana Lúcia Miranda Lopes. Trabalho apresentado para obtenção de título de Mestre na Universidade Federal de Minas Gerais.

MATTERS, M.; EVANS, A. ; **The nuts and bolts of benchmarking**. 1997, disponível em < <http://www.ozemail.com.au/~benchmark/nuts.bolts.html>> Acesso em 09/05/2015.

MCDONALD, J. **Using least squares and tobit in second stage dea efficiency analyses**. European Journal of Operational Research, Elsevier, v. 197, n. 2, p. 792–798, 2009. Citado 5 vezes nas páginas 39, 40, 41, 47 e 48.

MESQUITA, Roberto Barros, **Regulação de Tarifas de Distribuição de Energia Elétrica**, 2015.

MORSE, J. M., **Approaches to qualitative –quantitative methodological triangulation**. Nursing Research, 1991

NILLESEN, Paul; POLLITT Michael. **Using regulatory benchmarking techniques to set company performance targets: the case of US electricity**. University of Cambridge. Electricity Policy Research Group. 2008

RAY, S. C. **Resource-use efficiency in public schools: a study of connecticut data**. *Management Science*, INFORMS, v. 37, n. 12, p. 1620–1628, 1991.

RAY, Subhash C. Data envelopment analysis, nondiscretionary inputs and efficiency: an alternative interpretation. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 22, n. 4, p. 167-176, 1988.

SILVA, Aline V.; **Estimação paramétrica de escores de eficiência em 2 estágios: impacto das variáveis ambientais no ajuste das eficiências regulatórias das empresas brasileiras de distribuição de energia elétrica para 4o Ciclo de Revisão Tarifária Periódica**. Orientador: Marcelo Azevedo Costa. Trabalho apresentado para obtenção de título de Mestre na Universidade Federal de Minas Gerais.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. **Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes**. *Journal of econometrics*, Elsevier, v. 136, n. 1, p. 31–64, 2007.

SHEPHARD, Ronald William. **Theory of cost and production functions**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1970.

STONER, James A. F. e FREEMAN, R. Edward. Administração. Rio de Janeiro: PrenticeHall, 1995.

THANASSOULIS, Emmanuel. **Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis**. Aston University, Birmingham, Reino Unido. 2001

THOMSON, A. A., Strickland, A. J., Gamble, J. E.(2008): **Strategic Management**, Zagreb, Mate.

WINSTOW, A. Leading in a World of Resource Constraints and Extreme Weather: **Harvard Business Review**. 2015. Disponível em: < <https://hbr.org/2015/06/leading-in-a-world-of-resource-constraints-and-extreme-weather>> . Acesso em : 16/06/2015

APENDICE 1 – QUESTIONÁRIO DE *BENCHMARKING* INTERNO

Esse questionário é parte da pesquisa intitulada Dimensionamento ótimo de uma Empresa de Distribuição de Energia Elétrica, coordenada pela Dra. Ana Lúcia M. Lopes, FACE/UFMG, sob fomento da FAPEMIG/Cemig D, P&D ANEEL.

O objetivo do mesmo é buscar o entendimento de quais variáveis ambientais são significativas e impactam os custos da gerência regional sob sua gestão, visando melhorar os escores obtidos quando da aplicação da metodologia DEA, utilizada pela ANEEL. Para atingir este objetivo se faz necessário estudar as gerências regionais da Cemig D e, portanto, solicitamos a sua colaboração.

As perguntas que esta pesquisa trazem são:

- Os escores encontrados pelo modelo refletem a realidade de cada gerência regional?
- Existiriam algumas variáveis de produção ou ambientais que impactam estes escores e que não foram consideradas?

Solicita-se o preenchimento do questionário Likert abaixo composto por 27 perguntas .

Por favor, responda as afirmações a seguir usando uma escala de Discordo em absoluto a Concordo em absoluto. Considerando a afirmação em absoluto como uma afirmação mais forte e de maior valor (impacto).

Para qual gerência regional deve-se considerar as respostas deste questionário? *

Identifique a sua gerência regional:

- 1. O excesso de chuva ocorre em alguns períodos do ano afetando e aumentando o custo dos processos de operação e manutenção. ***
- 2. A gerência em questão apresenta, nos processos de operação e manutenção de redes, custos superiores em relação às demais gerências devido ao excesso de chuva e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem. ***
- 3. Os ventos afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção.**
- 4. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido aos ventos e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.**
- 5. As descargas elétricas afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção.**
- 6. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido às descargas elétricas e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.**
- 7. Altas temperaturas médias anuais afetam e aumentam o custo dos processos de operação e manutenção**
- 8. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido às temperaturas médias anuais e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.**

9. A variação do relevo afeta e aumenta o custo dos processos de operação e manutenção de redes das áreas rurais.
10. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido ao relevo e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
11. A área de atendimento em km² de uma gerência impacta os custos de operação e manutenção.
12. A gerência em questão apresenta custos superiores em relação às demais gerências devido à área de atendimento em km² e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
13. Com relação à qualidade das estradas pode-se afirmar que conforme aumenta o percentual de estradas asfaltadas em uma gerência reduz-se os custos dos processos de operação e manutenção.
14. A gerência em questão apresenta custos superiores devido à má qualidade das estradas e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
15. A heterogeneidade dos recursos referentes a fatores tecnológicos "hard" (equipamentos, veículos), altera o custo dos processos de operação e manutenção de redes.
16. A gerência em questão apresenta custos superiores nos processos de operação e manutenção devido a fatores tecnológicos "hard" (equipamentos, veículos) e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
17. A heterogeneidade dos recursos referentes a fatores tecnológicos "soft" (procedimentos, treinamentos), altera o custo dos processos de operação e manutenção de redes.
18. A gerência em questão apresenta custos superiores nos processos de operação e manutenção devido a fatores tecnológicos "soft" (procedimentos, treinamentos) e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
19. O excesso de vegetação afeta e aumenta o custo dos processos de operação e manutenção
20. A gerência em questão apresenta custos superiores significativos em relação às demais gerências devido a vegetação e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.
21. As ações referentes à redução das perdas Técnicas melhoram o atendimento operacional e reduzem o custo dos processos de manutenção.
22. A gerência em questão apresenta comparativamente a outras gerências grau elevado de perda técnica.

23. O excesso de violência na gerência regional em questão tem como consequência aumento do custo dos processos de operação e manutenção de redes.

24. A gerência regional em questão apresenta custos superiores devido à violência, que atrapalha os processos de operação e manutenção de redes e esta informação deveria ser levada em consideração na modelagem.

25. Em sua opinião existe alguma variável não considerada neste questionário e que deveria ser levada em consideração na avaliação da eficiência da gestão custos dos processos de operação e manutenção de redes?

26. Existe algum centro de custo personalizado específico na sua gerência com relação à(s) variável(is) não existente(s) no modelo e identificada por você?

27. Espaço destinado a quaisquer observações, comentários sobre as alguma das perguntas acima, tão como considerações sobre o modelo.

APENDICE 2 – RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO DE *BENCHMARKING* INTERNO

A Tabela 18 sumariza as respostas obtidas nas perguntas 01 a 24 do questionário de tal forma que segue o padrão de perguntas apresentadas no anexo 1 para cada uma das gerências regionais. O número 1 indica concordo totalmente, o número 2 indica concordo parcialmente, o número 3 indica não concordo nem discordo, o número 4 indica discordo parcialmente e o número 5 indica discordo totalmente.

Tabela 18: Resultado do questionário

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SJ	2	4	2	4	1	2	2	4	1	2	2	2	1	4	1	2	2	4	2	2	3	3	2	4
GV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
DV	1	2	1	2	1	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	3	1	3	2	3	4	4
VR	2	2	2	2	2	2	4	5	1	2	1	3	2	2	3	3	1	1	2	2	5	3	5	5
IP	1	1	1	3	1	4	3	3	1	1	1	5	1	2	1	2	1	5	1	1	1	3	2	3
MP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	5	1	4	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
TO	2	4	1	4	1	4	2	3	1	2	1	1	1	1	1	4	2	4	1	2	2	4	4	5
PM	1	5	1	4	1	4	1	4	1	5	4	2	1	4	2	4	2	4	1	5	1	3	1	5
MT	1	1	1	2	1	2	2	2	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	1	2	1	1	1
PR	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	3	2	3	3	3
PA	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	4	5
MC	2	2	2	2	2	2	4	4	2	2	1	2	4	4	1	1	3	3	4	5	4	5	5	5
UR	1	2	1	2	1	2	2	3	2	3	1	2	2	2	1	3	1	3	1	3	2	3	2	3
JF	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	3	4	4
UL	1	5	1	5	1	5	1	5	3	5	2	5	3	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5
PS	1	2	2	4	2	4	5	5	2	4	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	5	4	5

SJ – São João Del Rey; GV – Governador Valadares; DV – Divinópolis; VR – Varginha; IP – Ipatinga; MP – Metropolitana; TO – Teófilo Otoni; PM – Patos de Minas; MT – Metalúrgica; PR – Paracatu; PA – Pouso Alegre; MC – Montes Claros; UR – Uberaba; JF – Juiz de Fora; UL – Uberlândia; PS - Passos

APENDICE 3 – TABELA GERAL DE ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS

É possível encontrar na Tabela 19 a análise de correlação dos dados:

Tabela 19: Correlações entre as variáveis utilizadas

	<i>Escore VRS</i>	<i>Escore CRS</i>	<i>Escore SCRS</i>	<i>Area</i>	<i>Estr. não Pav.</i>	<i>Taxa de Qd. Arv.</i>	<i>Dens. Raios</i>	<i>Chuva</i>	<i>Vento</i>
Escore VRS	1,0000								
Escore CRS	0,6135	1,0000							
Escore SCRS	0,3827	0,4892	1,0000						
Area	-0,2328	0,0323	0,0572	1,0000					
Estr. não Pav.	-0,0291	-0,2182	-0,1735	-0,4704	1,0000				
Taxa de Qd. Arv.	0,0605	0,2098	-0,0907	-0,1988	-0,3636	1,0000			
Dens. Raios	0,0946	0,2750	-0,1105	0,3394	-0,7184	0,1363	1,0000		
Chuva	-0,0622	0,1084	-0,2372	0,0152	-0,6028	0,5522	0,7018	1,0000	
Vento	-0,4110	-0,5158	-0,9588	-0,1253	0,1936	0,0318	0,1573	0,3133	1,0000