

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RENATA FERREIRA DE SÁ

**AVALIAÇÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO APLICANDO ANÁLISE  
ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA**

JUIZ DE FORA

2016

RENATA FERREIRA DE SÁ

**AVALIAÇÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO APLICANDO ANÁLISE  
ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho

JUIZ DE FORA

2016

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sá, Renata Ferreira de.

Avaliação de curso de graduação aplicando Análise Envoltória de Dados - DEA / Renata Ferreira de Sá. -- 2016.  
104 f.

Orientador: Roberto Malheiros Moreira Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2016.

1. DEA. 2. cursos de graduação. 3. avaliação. 4. programação linear. 5. indicador. I. Moreira Filho, Roberto Malheiros, orient. II. Título.

RENATA FERREIRA DE SÁ

**AVALIAÇÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO APLICANDO ANÁLISE  
ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Faculdade de Engenharia da Universidade  
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Engenheiro de  
Produção.

Aprovada em 30 de novembro de 2016.

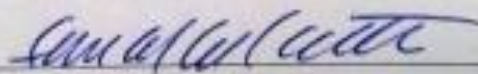
**BANCA EXAMINADORA**



D. Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc., Márcio de Oliveira  
Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc., Eduardo Breviglieri Pereira de Castro  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade de graduar em Engenharia de Produção. Agradeço à minha família pelo incentivo. Agradeço ao meu namorado pelo companheirismo. Agradeço aos mestres pelo conhecimento. Agradeço aos meus amigos de profissão pela colaboração. Agradeço às empresas que passei pela experiência profissional. Agradeço a Universidade de Toronto pela acolhida. Enfim, obrigada a todos que de alguma forma torceram e rezaram por mim, que eu possa retribuir com meu trabalho.

## **RESUMO**

Este estudo visa mostrar a viabilidade da aplicação da metodologia DEA (Análise Envoltória de Dados) na avaliação de cursos de graduação no Brasil, suas vantagens e limitações. Para isso, são estudadas as formulações de DEA clássicas desenvolvidas entre 1978 e 1984, os métodos atuais mais conhecidos de avaliação de cursos de graduação no Brasil – CPC, RUF e Guia - e dois estudos de caso com aplicação de DEA na educação superior brasileira. Para a experimentação do modelo é selecionado um grupo de cursos de graduação em Engenharia de Produção brasileiros. O problema de programação linear DEA é alimentado com dados reais de 2014 e tem seus resultados comparados com os resultados dos três indicadores consolidados para o mesmo ano. A avaliação por meio do DEA se assemelha àquela do CPC, porém com maior número de cursos avaliados com alta qualidade. O método proposto é mais fácil de ser aplicado e fornece informações para os cursos melhorarem sua qualidade (eficiência). A qualidade dos dados e a garantia de cumprimento das premissas do modelo DEA se mostrou crucial para a obtenção de resultados confiáveis. Por fim, a modelagem DEA se mostrou viável e pode ser mais uma fonte de comparação entre cursos de graduação no Brasil.

Palavras-chave: DEA, cursos de graduação, avaliação.

## **ABSTRACT**

This study aims to show the feasibility of applying DEA (Data Envelopment Analysis) in the evaluation of undergraduate programs in Brazil as well as its advantages and limitations. For this, studies were undertaken on DEA classical formulations developed between 1978 and 1984, on current known evaluation methods for undergraduate programs in Brazil - CPC, RUF and Guia - and on two cases applying DEA in the Brazilian higher education. For the experimentation, a group of Brazilian undergraduate programs in Industrial Engineering is selected. The DEA linear programming problem is fed with real data from 2014 and has its results compared to the results of the three consolidated indicators from the same year. The evaluation provided by DEA is similar to that from CPC, but with a greater number of programs tagged with high quality. The proposed method is easier to apply and provides information for programs to improve their quality (efficiency). The quality of the data and the assurance of compliance with the DEA model assumptions proved to be crucial for obtaining reliable results. Finally, DEA modeling proved to be feasible and may be one more source of comparison among undergraduate programs in Brazil.

**Keywords:** DEA, undergraduate programs, evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção.....	17
Figura 2 - Fronteira de eficiência <i>output</i> x <i>input</i> .....	27
Figura 3 - Fronteira de eficiência <i>out/in_1</i> x <i>out/in_2</i> .....	28
Figura 4 – Fronteira de eficiência <i>out</i> x <i>in_1</i> DMU <sub>A</sub> BCC Básico. ....	44
Figura 5 – Fronteira de eficiência <i>out</i> x <i>in_2</i> DMU <sub>A</sub> BCC Básico. ....	44
Figura 6 – Entradas e saídas no processo de ensino-aprendizagem. ....	53
Figura 7 – Escolha de DMU's para popular o PPL. ....	60
Figura 8 – Comparação de resultados Guia x CPC. ....	70
Figura 9 - Comparação de resultados DEA x CPC. ....	71
Figura 10 - Comparação de resultados DEA x Guia. ....	72
Figura 11- Comparação de resultados DEA x RUF. ....	72



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores RUF.....	21
Quadro 2 – Componentes do CPC.....	22
Quadro 3- Dados de exemplo. ....	27
Quadro 4 - DMU virtual para DMU <sub>A</sub> CCR Seminal.....	36
Quadro 5 - DMU virtual para DMU <sub>A</sub> BCC Básico. ....	44
Quadro 6- Variáveis para avaliação dos cursos de Administração do Sul. ....	48
Quadro 7- <i>Outputs</i> para avaliação de departamentos da UFSCar .....	50
Quadro 8 – Mapeamento <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para cursos de graduação.....	52
Quadro 9 – Dados tabulados para popular PPL.....	54
Quadro 10 – Eficiência pelo modelo do Envelopamento BCC Básico com dados originais. ...	66
Quadro 11 – <i>Benchmarks</i> para DMU's ineficientes.....	67
Quadro 12 – Clusterização entre DMU's ineficientes e <i>benchmarks</i> .....	68
Quadro 13 – Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 27 a 38. ....	81
Quadro 14 - Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 39 a 53.....	81
Quadro 15 - Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 54 a 68.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conversão NCPC x CPC .....	25
Tabela 2 - Eficiências relativas a $DMU_A$ no modelo dos Multiplicadores CCR Seminal.....	39
Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos dados originais. ....	61
Tabela 4 – Resultado $DMU_1$ modelo do Envelopamento BCC Básico com dados originais e normalizados.....	62
Tabela 5 - Estatísticas descritivas dos dados normalizados. ....	63
Tabela 6 – Comparativo de eficiência para diferentes modelagens DEA. ....	63
Tabela 7 – Valor de eficiência convertido em faixas de desempenho.....	65
Tabela 8 – Alvos de eficiência para $DMU_{19}$ .....	69
Tabela 9 – Base completa com dados originais.....	83
Tabela 10 – Comparação entre classificações DEA, CPC, RUF e Guia. ....	102

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BCC	Modelo de programação linear proposto em 1984
CCR	Modelo de programação linear proposto em 1978
CPC	Conceito Preliminar de Curso
DEA	Análise Envoltória de Dados
DMU	Unidade Tomadora de Decisão
ENADE	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
ENC	Exame Nacional de Cursos
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
Guia	Avaliação de cursos do Guia do Estudante
IDD	Índice de Desempenho Esperado
IES	Instituição de Ensino Superior
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
MEC	Ministério da Educação
PISM	Programa de Ingresso Seletivo Misto
PPL	Problema de Programação Linear
ROC	Algoritmo de Clusterização por Ordem de Ranqueamento
RUF	Ranking Universitário Folha
Sinaes	Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
$f_0$	Indicador de eficiência no modelo DEA do Envelopamento orientado a <i>inputs</i>
$h_0$	Indicador de eficiência no modelo fracionário DEA
$i$	Indicador numérico do <i>input</i> na modelagem DEA
$j$	Indicador numérico da DMU de referência na modelagem DEA
$m$	Número total de <i>inputs</i> na modelagem DEA
$n$	Número total de DMU's na modelagem DEA
$O$	Conjunto de DMU's observadas na modelagem DEA
$r$	Indicador numérico do <i>output</i> na modelagem DEA
$s$	Número total de <i>outputs</i> na modelagem DEA
$s_i^-$	Folga na restrição dos <i>inputs</i> no modelo do Envelopamento
$s_r^+$	Folga na restrição dos <i>outputs</i> no modelo do Envelopamento
$U$	Conjunto de pesos $u_r$ no modelo DEA dos Multiplicadores
$u_r$	Peso do <i>output</i> $r$ no modelo DEA dos Multiplicadores
$v_i$	Peso do <i>input</i> $i$ no modelo DEA dos Multiplicadores
$x_{ij}$	Valor do <i>input</i> $i$ na DMU $_j$
$y_{rj}$	Valor do <i>output</i> $r$ na DMU $_j$
$z_0$	Indicador de eficiência no modelo DEA do Envelopamento orientado a <i>outputs</i>
$\varepsilon$	Constante não-arquimediana na modelagem DEA
$\lambda$	Conjunto de pesos $\lambda_j$ no modelo DEA do Envelopamento
$\lambda_j$	Peso da DMU $_j$ no modelo DEA do Envelopamento
$Y$	Conjunto de pesos $v_i$ no modelo DEA dos Multiplicadores

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	ESCOPO DO TRABALHO .....	15
1.4	ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS .....	16
1.4.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	16
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	16
1.5	DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA .....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1	METODOLOGIAS ATUAIS PARA AVALIAÇÃO DE CURSOS DE GRADUAÇÃO.....	19
2.1.1	<i>Guia: Avaliação de cursos do Guia do Estudante (Editora Abril)</i> .....	19
2.1.2	<i>RUF: Ranking Universitário Folha (Folha de S. Paulo)</i> .....	20
2.1.3	<i>CPC: Conceito Preliminar de Curso (INEP)</i> .....	22
2.2	DEA: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	26
2.2.1	<i>DEA - Motivação</i> .....	26
2.2.2	<i>DEA - CCR Seminal (1978)</i> .....	28
2.2.3	<i>DEA - CCR Básico (1979)</i> .....	39
2.2.4	<i>DEA - BCC Básico (1984)</i> .....	41
2.2.5	<i>DEA – Premissas</i> .....	45
2.2.6	<i>DEA - Vantagens</i> .....	45
2.2.7	<i>DEA - Limitações</i> .....	46
2.3	DEA NA AVALIAÇÃO DE CURSOS DE GRADUAÇÃO NO BRASIL .....	47
2.3.1	<i>Avaliação de Cursos de Graduação em Administração no Sul do Brasil (2000)</i> .....	47
2.3.2	<i>Avaliação de Departamentos Acadêmicos da UFSCar (2003)</i> .....	49
<b>3.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>52</b>
3.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS – <i>INPUTS</i> E <i>OUTPUTS</i> .....	52
3.2	ESCOLHA DO MODELO DEA .....	57
3.3	ESCOLHA DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO PARA AVALIAÇÃO .....	59
3.4	APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....	61
3.5	COMPILAÇÃO DO MODELO .....	63
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1	RESULTADOS DA MODELAGEM DEA.....	65
4.2	COMPARAÇÃO COM INDICADORES CONSOLIDADOS .....	70
4.3	LIMITAÇÃO DOS RESULTADOS .....	74

<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
5.1	DISCUSSÃO .....	75
5.2	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	77
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>78</b>
	<b>ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO DO ENADE 2014: QUESTÕES 27 A 68.....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO B – BASE DE DADOS COMPLETA .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXO C – MÉTODO PARA NORMALIZAR BASE DE DADOS.....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXO D – PPL COMPLETO PARA CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DA DMU<sub>1</sub> .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO E – COMPARAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÕES.....</b>	<b>102</b>
	<b>ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE.....</b>	<b>102</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Freitas e Silveira, em 1997 (apud CASADO, 2007) já reconheciam a importância da avaliação das instituições de ensino. No entanto, afirmavam que a metodologia a ser utilizada para tal avaliação deveria ser desenvolvida de forma a garantir maior eficiência e qualidade.

Foi buscando propor uma metodologia que representasse melhor o quanto os cursos de graduação do Brasil agregam aos estudantes e como os mesmos podem melhorar que este trabalho experimenta o uso da metodologia DEA. Esta é uma sigla que vem do nome em inglês *Data Envelopment Analysis* que significa Análise Envoltória de Dados<sup>1</sup> (BECKENKAMP, 2002). DEA corresponde a uma metodologia de avaliação de eficiência entre unidades tomadoras de decisão (DMU – *Decision Making Unity*) conforme foi definido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978. DEA compara todas as unidades com a mais eficiente (eficiência relativa) valorizando o que cada unidade tem de melhor. Farrell (1957) ao discutir a definição de seu modelo para cálculo da eficiência técnica relativa afirma que é muito melhor comparar desempenhos com o melhor alcançado do que com um ideal inatingível.

Ao apresentar a metodologia DEA pela primeira vez, Charnes, Cooper and Rhodes (1978) justificam sua utilidade na medição de eficiência de órgãos públicos, que não apresentam entradas e saídas (*inputs* e *outputs*) do processo com unidades de medida tão claras, como é o dinheiro para as empresas privadas. Essa característica da DEA é interessante, também, no caso da medição de cursos de graduação que dependem de entradas e saídas com unidades de medições variadas. Não é necessária a normalização de todas as entradas para uma unidade de medida comum, o que facilita sua utilização. Alguns autores já estão explorando o DEA como método avaliativo de cursos de graduação (DALMAS, 2000) e, de departamentos (PANEPUCCI, 2003) no Brasil.

Neste estudo a metodologia DEA é aplicada para avaliação de cursos de graduação em Engenharia de Produção no Brasil com dados reais e comparada aos indicadores brasileiros reconhecidos e divulgados atualmente.

---

<sup>1</sup> Todas as nomenclaturas de DEA utilizadas neste texto são referentes às mesmas utilizadas por Beckenkamp, 2002.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho versa sobre a aplicação da metodologia DEA na avaliação de cursos de graduação no Brasil. DEA é uma metodologia que utiliza programação linear para o cálculo da eficiência relativa entre DMU's (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Tanto DEA quanto o conceito de eficiência relativa são temas novos, não abordados no currículo do curso de Engenharia de Produção da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) que pode ser acessado no site do curso (UFJF, 2016). Portanto, uma revisão bibliográfica objetiva foi realizada para entendimento da DEA, desde sua origem em 1978 e suas evoluções até o ano de 1984. Tais evoluções se limitam a ajustes do primeiro modelo referentes à eficiência técnica e não se estende a tópicos avançados de DEA como teoria *Fuzzy* DEA.

A aplicação dessa metodologia na avaliação de cursos de graduação exigiu, também, uma revisão bibliográfica de textos que tiveram objetivos semelhantes. Os textos de Dalmas (2000) e Panepucci (2003) auxiliaram no entendimento, principalmente, de como pode ser desenvolvido um modelo DEA para tal aplicação. Além disso, com o objetivo de ser consistente com os indicadores já utilizados, os resultados do modelo experimentado foram comparados aos conceitos que são, atualmente, atribuídos aos cursos de graduação. Essa comparação ficou restrita aos indicadores usuais, são eles: CPC - Conceito Preliminar de Curso (INEP<sup>2</sup>), RUF – Ranking Universitário Folha (Folha de S. Paulo) e Avaliação de cursos do Guia do Estudante (Editora Abril).

Após a definição do modelo DEA experimental, o mesmo foi compilado com os dados reais disponíveis dos cursos de graduação em Engenharia de Produção de universidades ou faculdades brasileiras. Os dados aplicados estavam disponíveis publicamente. Além disso, o software utilizado para solução dos PPL's<sup>3</sup> foi o LINGO<sup>®</sup> versão de teste (2015) que está disponível para download gratuito no site da empresa Lindo Systems Inc<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> INEP: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

<sup>3</sup> PPL: Problema de Programação Linear.

<sup>4</sup> [www.lindo.com](http://www.lindo.com)

## 1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Mello et al. (2005, p. 2544), é “senso comum entre especialistas da área de educação que a avaliação educacional deve ser quantitativa e comparada”. DEA toma como entrada dados quantitativos e oferece um conceito normalizado entre 0 e 1. Essa metodologia, além de não exigir normalização da base de dados, valoriza o que cada curso tem de melhor. Ou seja, valoriza o plano de produção <sup>5</sup> de cada curso ao calcular a eficiência relativa.

DEA tem sido extensivamente aplicado para medição de eficiência na educação superior no mundo. No entanto, poucos textos abordam a utilização dessa metodologia para comparação de cursos de graduação. No Brasil, ainda é escasso o volume de trabalhos nesse tema. Além disso, experimentar o modelo DEA e comparar esse modelo aos métodos de cálculos atuais, mostrando o quão viável é a metodologia é no que se destaca este trabalho.

A utilização da metodologia DEA ainda é uma novidade no meio científico da UFJF. Não foi encontrado nenhum trabalho que tratasse desse tema no acervo desta universidade. Portanto, pode-se atribuir a este trabalho a função de apresentar a DEA para o público acadêmico desta instituição.

A comparação entre cursos de graduação pode se beneficiar por uma metodologia objetiva que fornece um resultado mais consistente exigindo menos esforço inicial de pré-definição de parâmetros.

A escolha por esse tema permite a ampliação dos meus conhecimentos sobre metodologias de apoio à decisão dado que nenhuma disciplina cursada compreendeu o estudo de DEA. Além disso, DEA se apresenta de muita utilidade para avaliação de eficiência não só para unidades não-lucrativas, como também para unidades lucrativas. Com isso, o conhecimento dessa metodologia pode ser um diferencial profissional após a graduação.

---

<sup>5</sup> Plano de produção: diz respeito à forma como cada curso decidiu investir em recursos e empregar esses recursos de forma a gerar diferentes intensidades de resultados.



### 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

As duas principais perguntas que este trabalho busca responder são: A metodologia DEA é viável para a avaliação de cursos de graduação no Brasil? E, os resultados obtidos com o DEA representam bem a eficiência dos cursos de graduação? Ao final são apresentados os resultados do experimento e a comparação dos mesmos com os indicadores atualmente consolidados.

As metodologias atuais consideradas na comparação são aquelas disponíveis para acesso em fevereiro de 2016, que incluem o CPC (INEP), o RUF (Folha de S. Paulo) e o Guia (Editora Abril). O modelo formal experimentado neste trabalho será baseado na metodologia DEA proposta, inicialmente, em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes incluindo seus avanços até 1984, quando Banker, Charnes e Cooper propõem o modelo BBC Básico, explicado em detalhes no capítulo dois. Além disso, os dados reais utilizados no capítulo três para cálculo do modelo proposto são aqueles disponibilizados publicamente pelo INEP e pela Folha de S. Paulo em outubro de 2016, ficando este estudo dependente da forma como esses dados são coletados por esses órgãos. Esses dados são referentes, apenas, aos cursos de Engenharia de Produção de universidades ou faculdades com sede no Brasil. A limitação desse conjunto foi feita com o intuito de garantir que todos os cursos desfrutam das mesmas condições de mercado.

A principal dificuldade na pesquisa bibliográfica foi encontrar livros sobre DEA dado que a UFJF não ofertava nenhum em seu acervo. Além disso, muitos dos artigos não puderam ser acessados por não serem livres, tendo um custo para acesso. A principal bibliografia sobre DEA acessada está no site DEAZone<sup>6</sup> (2016a), onde podem ser consultados muitos textos sobre DEA desde sua criação até o presente.

A definição do modelo experimentado com aplicação da metodologia DEA foi baseado nos indicadores atuais de classificação de cursos e nos textos de Dalmas (2000) e Panepucci (2003) que aplicaram DEA na educação superior. Na experimentação desse modelo foram aplicados, apenas, dados reais disponíveis publicamente, o que limitou a diversidade de entradas e saídas incluídas. Além disso, só foram considerados cursos de graduação com dados não-ausentes, o que diminuiu o tamanho da amostra de cursos. Essa limitação, porém, não foi significativa a ponto de afetar muito a discriminação do modelo.

---

<sup>6</sup> [www.deazone.com](http://www.deazone.com)

A aplicação dos dados reais escolhidos para popular o modelo DEA influenciou para que os resultados do experimento não cumprissem as premissas esperadas pela teoria da modelagem. No entanto, as análises dos resultados obtidos ainda satisfizeram os objetivos desse estudo.

A comparação entre os resultados obtidos com a DEA e os resultados obtidos com as metodologias atuais aplicadas por organizações avaliadoras de cursos não foram muito profundas. O Guia não fornece sua metodologia de cálculo e nem sua base de dados para cálculo. O RUF oferece a metodologia, apenas, superficialmente. Esses fatos implicaram para que este estudo não pudesse concluir qual metodologia é mais ou menos adequada. Porém foi possível testar a viabilidade da modelagem com o DEA através da comparação superficial dos resultados.

#### 1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Neste tópico são apresentados os objetivos deste estudo.

##### 1.4.1 Objetivo Geral

Testar a viabilidade do uso da metodologia DEA na avaliação de cursos de graduação no Brasil através de experimentação com dados reais de cursos de graduação em Engenharia de Produção.

##### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Mostrar a eficiência da metodologia DEA na avaliação de cursos de graduação;
- Incitar os órgãos avaliadores de cursos de graduação a introduzir DEA no cálculo de seus indicadores;
- Conhecer a metodologia DEA e suas aplicações como indicador de eficiência relativa;
- Trazer a metodologia DEA para conhecimento da população acadêmica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

## 1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Baseado na classificação da pesquisa científica em Engenharia de Produção explorado por Turrioni e Mello (2012), a Figura 1 a seguir, adaptada do mesmo autor, traz com destaque a forma seguida neste trabalho.

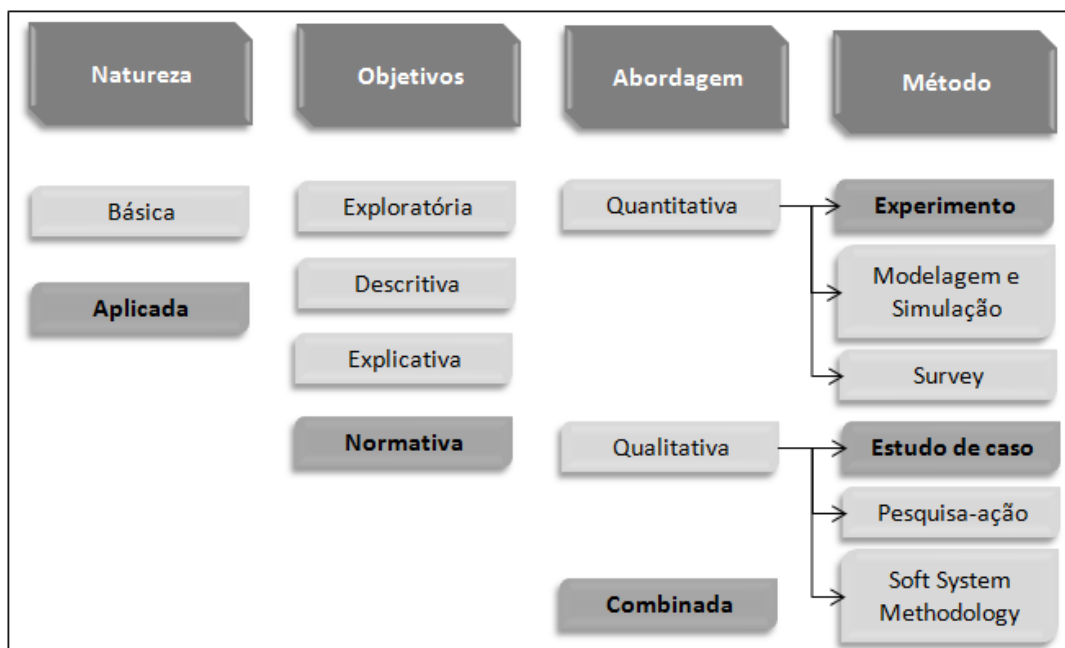


Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção.  
Fonte: Turrioni e Mello, 2012 (Adaptado).

Conforme destacado, a natureza da pesquisa é aplicada com o objetivo de experimentar a metodologia DEA na avaliação de cursos de graduação. A expectativa, com esse estudo, é difundir o conhecimento sobre a metodologia DEA e instigar os órgãos avaliadores de cursos de graduação presentes no Brasil a adotarem o DEA nos seus cálculos, provada a viabilidade do método.

O objetivo é de pesquisa normativa ao comparar a metodologia DEA com as metodologias atualmente utilizadas na avaliação de cursos de graduação. DEA é uma metodologia consolidada que pode vir a modificar a forma como a classificação de cursos de graduação no Brasil acontece.

A abordagem é combinada dado que parte é quantitativa e parte qualitativa no desenvolvimento deste trabalho. Na parte qualitativa, o método usado é o Estudo de caso exploratório com o objetivo de entender a metodologia DEA e checar como autores adotaram essa metodologia para calcular a eficiência de DMU's similares a cursos de graduação. Na parte quantitativa, será experimentado um modelo para cálculo de eficiência via DEA para

avaliação de cursos de graduação em Engenharia de produção no Brasil populado com dados reais. Daí, a justificativa para a classificação do método em Experimento.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo dois, Revisão de Literatura, é dividido em três partes principais. A primeira mostra como são as metodologias atuais utilizadas para o cálculo de indicadores de eficiência (qualidade) de cursos de graduação no Brasil. A segunda explica a metodologia DEA, sua criação em 1978 e evolução até 1984, destacando suas premissas, limitações e vantagens. A terceira expõe algumas características dos trabalhos de Dalmas (2000) e Panepucci (2003) que estudam a aplicação de DEA na avaliação da educação superior.

O capítulo três, Desenvolvimento, retrata o planejamento e execução do experimento e é dividido em cinco partes. A primeira define os *inputs* e *outputs* que serão considerados no modelo DEA. A segunda escolhe a evolução do DEA que será utilizada. A terceira seleciona os cursos de graduação elegíveis para o teste. A quarta apresenta os dados reais consolidados. E, a última parte trata da compilação do modelo.

Já o capítulo quatro, Resultados, apresenta os resultados obtidos com o experimento e a análise desses resultados. Também mostra os resultados obtidos com a modelagem DEA comparados àqueles atribuídos pelos indicadores estudados e as limitações do modelo DEA que influenciaram nesses resultados.

Por último, o capítulo cinco, Conclusão, versará sobre a viabilidade da utilização da modelagem DEA para avaliação de cursos de graduação a partir dos resultados do experimento. Ademais, apresenta sugestões para futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos a partir das dificuldades e oportunidades encontradas durante a realização deste estudo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo trata da revisão dos conceitos necessários ao entendimento do desenvolvimento e resultados deste trabalho. Inicialmente são exploradas as metodologias atuais de avaliação de cursos de graduação, com suas vantagens e limitações, para que se possa compará-las à modelagem DEA experimentada. Em seguida, será apresentado o modelo de programação linear DEA desde sua primeira proposição até alguns aprimoramentos do mesmo, com destaque para suas premissas, vantagens e limitações. Esses conceitos serão necessários no entendimento do uso de DEA em trabalhos que tem objetivos semelhantes aos deste trabalho, assim como na compreensão do modelo DEA planejado no desenvolvimento deste texto e nos resultados obtidos com essa metodologia. Por fim, uma revisão acerca dos trabalhos já realizados com uso de DEA na educação superior é apresentada para que se possa verificar como os objetivos deste trabalho tem sido abordados por outros autores.

### **2.1 METODOLOGIAS ATUAIS PARA AVALIAÇÃO DE CURSOS DE GRADUAÇÃO**

Dentre os indicadores atuais que classificam os cursos de graduação destacam-se a Avaliação de cursos do Guia do Estudante (Editora Abril), o Ranking Universitário Folha (Folha de São Paulo) e o Conceito Preliminar de Curso (INEP). Este tópico traz a metodologia usada no cálculo desses indicadores, assim como os atributos considerados por cada um, sendo que para os dois primeiros, Guia e RUF, a metodologia não é claramente disponível.

#### **2.1.1 Guia: Avaliação de cursos do Guia do Estudante (Editora Abril)**

Segundo Oliveira e Silva (2016), o Guia do Estudante para cálculo da classificação dos cursos de graduação utiliza um questionário online preenchido por coordenadores de curso e professores. Neste questionário constam 15 perguntas divididas em 8 temas, são eles:

- Corpo docente;
- Projeto pedagógico;
- Produção científica;
- Infraestrutura;

- Inserção dos alunos no mercado de trabalho;
- Internacionalização;
- Atividades de extensão;
- Oferta de pós-graduação.

No entanto, estes questionários não são considerados diretamente para o cálculo do indicador. As respostas são disponibilizadas aos “parceiristas”, que são os responsáveis por definir o valor de cada curso. Esses “parceiristas” são um conselho composto por docentes, coordenadores de curso, diretores de departamento e avaliadores do MEC. Por fim, a classificação do curso é dada pela média das notas de, no mínimo, 6 “parceiristas”. Além de considerar os conceitos recebidos nos 5 últimos anos. Cada curso é classificado em uma das 5 categorias: 1, 2, 3, 4 ou 5 estrelas. Sendo 5 estrelas excelente e 1 estrela ruim (OLIVEIRA e SILVA, 2016).

Este modelo assume a premissa de que o desempenho atual do curso é próximo ao desempenho nos últimos 5 anos ao considerar o desempenho anterior no cálculo, logo diminui o valor de uma real evolução do curso de graduação sendo avaliado ou de uma possível queda brusca de qualidade. Além disso, a classificação final dos cursos é definida subjetivamente por pessoas que utilizam de critérios de categorização diferenciados. Neste caso, não sendo um indicador objetivo.

### **2.1.2 RUF: *Ranking* Universitário Folha (Folha de S. Paulo)**

O RUF utiliza dois indicadores principais para comparação entre os cursos de graduação: ensino e mercado (FOLHA DE S. PAULO, 2016a). Esses indicadores são divididos em subitens que são pontuados de acordo com o desempenho de cada curso até o limite mostrado no Quadro 1 a seguir.

INDICADOR	SUBITEM	PONTOS	
1. Ensino	1. Pesquisa Datafolha com professores que avaliam cursos de graduação para o INEP-MEC (Ministério da Educação).	44	64
	2. Proporção de docentes com doutorado e com mestrado na instituição (dados do MEC).	8	
	3. Proporção de professores com dedicação integral e parcial (dados do MEC).	8	
	4. Nota do curso no ENADE <sup>7</sup> (Exame Nacional de Desempenho de Estudantes).	4	
2. Mercado	5. Pesquisa Datafolha com profissionais da área de Recursos Humanos de empresas.	36	36

Quadro 1 – Indicadores RUF.  
Fonte: Folha de S. Paulo, 2016a (Adaptado).

O site do RUF não traz como é feita a conversão das pesquisas ou dados do INEP na pontuação de seus subitens. Aparenta resultar em uma classificação mais objetiva e consistente entre os cursos de graduação que o Guia. Os pontos são associados a cada curso de graduação de 0 ao máximo (mostrado no Quadro 1) sendo o máximo dado para o curso de melhor desempenho no subitem em avaliação. Assim sendo, a pontuação é associada comparando-se os cursos, pois o curso com melhor posição nos dados recebe a pontuação máxima e os demais recebem pontuações inferiores referentes à máxima já associada. Os cursos são classificados do melhor para o pior por ordem decrescente do somatório da pontuação. Nota-se que foram atribuídos pesos relativos a cada subitem. A Nota do ENADE, por exemplo, é o subitem que menos agrega ao desempenho do curso e, também, a opinião dos professores avaliadores contribui mais que a opinião dos profissionais de RH. Neste caso, é o indicador que escolhe o valor dos subitens e não o curso, ou seja, é assumido que todos os cursos alcancem os objetivos com os mesmos processos, o que nem sempre é a realidade. Além disso, é assumido que todos os cursos praticam os mesmos pesos (importância) para cada subitem, o que, também, pode variar.

<sup>7</sup> ENADE: Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes. O Enade é composto de uma prova aplicada aos estudantes concluintes e três questionários para captação de impressões sobre a prova, o curso e a instituição de ensino. A prova é dividida em Formação Geral e Componente Específico com pontuação de 0 a 100 cada. O ENADE é conteúdo obrigatório para os alunos concluintes (INEP, 2016j).

### 2.1.3 CPC: Conceito Preliminar de Curso (INEP)

O INEP é o principal órgão avaliador de cursos superiores no Brasil. Através do Sinaes (Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior), criado em 2004, este órgão avalia os cursos e as instituições de ensino superior, e seus objetivos compreendem reconhecer o mérito e valor dos cursos de graduação e melhorar a qualidade da educação superior orientando a oferta, conforme destacado no site do INEP (2016a).

Para realizar tal avaliação o INEP dispõe de vários instrumentos para coleta de dados: a Autoavaliação, onde os próprios coordenadores dos cursos classificam os cursos em várias áreas através de um questionário objetivo (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2015); a Avaliação Externa, onde membros da comunidade acadêmica e científica, externos à instituição avaliada, dão um parecer sobre a unidade avaliada (INEP, 2016b); o Censo, que compreende dados quantitativos como número de matriculados no curso e número de docentes (INEP, 2016c); e o ENADE, que é uma prova aplicada aos calouros e aos formandos com o objetivo de checar o desempenho dos estudantes (INEP, 2016d).

O CPC, elaborado pelo INEP, é o principal indicador de qualidade dos cursos de graduação no Brasil. Ele leva em consideração três dimensões que são subdivididas em oito componentes para gerar um indicador de qualidade com valor discreto e inteiro de 1 a 5, sendo 1 um valor que indica baixa qualidade e 5 um valor que indica alta qualidade. A Nota Técnica sobre o cálculo do CPC de 2014 traz a metodologia desse indicador em detalhes (INEP, 2015a). Os componentes considerados na avaliação dos cursos de graduação são apresentados no Quadro 2 a seguir.

DIMENSÃO	COMPONENTES
1. Desempenho dos Estudantes	1. Nota dos Concluintes no ENADE (NC)
	2. Nota do Indicador da Diferença entre os Desempenhos Observado e Esperado (NIDD)
2. Corpo Docente	3. Nota de Proporção de Mestres (NM)
	4. Nota de Proporção de Doutores (ND)
	5. Nota de Regime de Trabalho (NR)
3. Percepção Discente sobre as Condições do Processo Formativo	6. Nota referente à organização didático-pedagógica (NO)
	7. Nota referente à infraestrutura e instalações físicas (NF)
	8. Nota referente às oportunidades de ampliação da formação acadêmica e profissional (NA)

Quadro 2 – Componentes do CPC.  
Fonte: INEP, 2015a (Adaptado).



Em seguida, como é calculada a nota de cada componente conforme explicado na Nota Técnica sobre o cálculo do CPC de 2014 (INEP, 2015a).

**NC:** É a média da nota do ENADE de cada curso. A nota de cada aluno é ponderada sendo 25% para a parte de Formação Geral e 75% para Componente Específico. Cursos com menos de dois alunos fazendo o ENADE são desconsiderados.

**NIDD:** É a média das notas do IDD<sup>8</sup> de cada aluno. O IDD do aluno é calculado via sua nota final (ponderada) no ENADE menos a nota esperada desse aluno no ENADE dado seu desempenho no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) enquanto ingressante. A nota esperada no ENADE é dada por uma regressão multinível considerando a nota do ENEM de cada especialidade (ciências naturais e suas tecnologias, ciências humanas e suas tecnologias, linguagens e códigos e suas tecnologias, e matemática e suas tecnologias). São excluídos os cursos com menos de dois alunos fazendo o ENADE e, também, com menos de 20% dos alunos do ENADE sem informação de ENEM.

**NM:** Proporção de professores com titulação igual ou superior a mestre dividido pelo número total de professores vinculados ao curso.

**ND:** Proporção de professores com titulação igual a doutor dividido pelo número total de professores vinculados ao curso.

**NR:** Proporção de professores que trabalham em dedicação integral e parcial dividido pelo número total de professores vinculados ao curso.

**NO:** Média das notas das respostas do questionário sócioeconômico que compõe o ENADE nas questões 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 57 e 66 de cada aluno. São excluídas as questões cujas respostas foram "Não sei responder" e "Não se aplica". Essas questões são respondidas pela escala de Likert de 1 a 6 (1 = Discordo Totalmente e 6 = Concordo Totalmente).

**NF:** Média das notas das respostas do questionário sócioeconômico que compõe o ENADE nas questões 41, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 e 68 de cada aluno. São excluídas as questões cujas respostas foram "Não sei responder" e "Não se aplica". Essas questões são respondidas pela escala de Likert de 1 a 6 (1 = Discordo Totalmente e 6 = Concordo Totalmente).

**NA:** Média das notas das respostas do questionário sócioeconômico que compõe o ENADE nas questões 43, 44, 45, 46, 52, 53 e 67 de cada aluno. São excluídas as questões cujas

---

<sup>8</sup> IDD: Índice que mostra a estimativa da parte do desempenho do estudante concluinte que foi agregada pela qualidade do processo de ensino/aprendizagem (INEP, 2015a).

respostas foram “Não sei responder” e “Não se aplica”. Essas questões são respondidas pela escala de Likert de 1 a 6 (1 = Discordo Totalmente e 6 = Concordo Totalmente).

As questões de 27 a 68 (escala de Likert) do questionário socioeconômico que compõem o ENADE de 2014 estão disponíveis no Anexo A deste documento.

Primeiramente, o resultado de cada um desses componentes para cada curso de graduação em análise é padronizado para um valor contínuo de 0 a 5 (INEP, 2015a e 2015b). Para essa padronização calcula-se a média do componente e seu desvio padrão amostral para a área de avaliação. A área de avaliação compreende os mesmos cursos de graduação para diferentes faculdades. Por exemplo, o curso de Engenharia de Produção da UFJF estará enquadrado na mesma área de avaliação do curso de Engenharia de Produção de outra universidade, enquanto o curso de Engenharia Ambiental se enquadra em outra área de avaliação juntamente com outros cursos da mesma graduação.

Depois de conhecidos essas duas estatísticas para a área de avaliação, é calculado a quantos desvios padrões (Z) cada curso (j) está da média da sua área de avaliação (k). Se o componente (x) de um curso está a mais de 3 desvios padrões para cima da média, ele é considerado um *outlier* e recebe conceito padronizado 5. Se, por outro lado, o componente de um curso está a mais de 3 desvios padrões para baixo da média, ele também é considerado um *outlier* e recebe conceito padronizado 0. Para os demais cursos que apresentam desvios entre -3 e 3 da média, o conceito padronizado do componente x para o curso de graduação j ( $NPx_j$ ) é calculado usando a fórmula (1) abaixo.

$$NPx_j = 5 * \left( \frac{Zx_j - Zx_k \text{ min}}{Zx_k \text{ max} - Zx_k \text{ min}} \right) \quad (1)$$

Onde:

$NPx_j$  é a nota padronizada do componente x do curso j;

$Zx_j$  é o afastamento padronizado do componente x do curso j;

$Zx_k \text{ min}$  é o afastamento padronizado mínimo do componente x da área de avaliação k;

$Zx_k \text{ max}$  é o afastamento padronizado máximo do componente x da área de avaliação k.

Depois de todos os componentes terem suas notas padronizadas, o NCPC é calculado usando a fórmula 2 a seguir. O NCPC é a nota do CPC contínua de 0 a 5. E o índice j diz respeito ao curso de graduação sendo avaliado.

$$NCPC_j = 0,20 * NC_j + 0,35 * NIDD_j + 0,075 * NM_j + 0,15 * ND_j + 0,075 * NR_j + 0,075 * NO_j + 0,05 * NF_j + 0,025 * NA_j \quad (2)$$

Nota-se que foram atribuídos pesos arbitrários para cada componente. O componente individual mais importante passa a ser o NIDD com um coeficiente de 0,35 e o menos importante é o NA com o coeficiente de 0,025. Portanto o NIDD é considerado 14 vezes mais importante que o NA na avaliação da eficiência dos cursos. A dimensão mais importante é a de Desempenho dos Estudantes com coeficiente resultante de 0,55 ( $0,20*NC + 0,35*NIDD$ ) e a menos importante é a de Percepção Discente sobre as Condições do Processo Formativo com coeficiente resultante de 0,15 ( $0,075*NO + 0,05*NF + 0,025*NA$ ).

Por fim, o conceito discreto e inteiro do CPC é definido conforme ilustrado na Tabela 1 seguinte.

Tabela 1 – Conversão NCPC x CPC

CPC	NCPC
1	$0 \leq NCPC < 0,945$
2	$0,945 \leq NCPC < 1,945$
3	$1,945 \leq NCPC < 2,945$
4	$2,945 \leq NCPC < 3,945$
5	$3,945 \leq NCPC < 5$

Fonte: INEP, 2015a. (Adaptado)

Este modelo de cálculo de índice de eficiência de cursos de graduação apresenta a vantagem de comparar cursos de graduação com outros cursos de graduação da mesma área de avaliação. Com isso, evita-se o problema de se estar comparando unidades com condições de mercado ou com necessidades distintas umas das outras. No entanto, este modelo sugere várias limitações. Ao padronizar as notas dos componentes, o modelo exclui os *outliers* com mais de três desvios para cima da média da área de avaliação que poderiam ser, na verdade, usados como *benchmarks* para outras unidades que estão sendo comparadas. Além disso, a exigência de padronização dos componentes é um trabalho a mais que não agrega valor no cálculo do indicador de interesse, CPC. Ainda, a forma usada para considerar todos os componentes na conta do CPC é arbitrando pesos para cada um. Isso faz com que cursos que valorizem componentes diferentes ou que invistam mais em componentes de menor peso não sejam valorizados pela sua escolha. Por exemplo, se um curso investe em parcerias com empresas para visitas técnicas orientadas ao aprendizado, seu investimento em laboratórios pode ser reduzido, implicando em uma nota inferior no quesito infraestrutura, que é um dos componentes levados em consideração no cálculo do CPC.

Por fim, não se separa recursos de resultados. Acredita-se que o número de professores mestres (NM) ou doutores (ND), por exemplo, é uma entrada do processo de ensino/aprendizagem que resulta no desempenho dos estudantes (NC) e não deveriam ser considerados juntamente para o cálculo da qualidade do ensino. É possível, até, que exista uma alta correlação entre esses recursos e este resultado.

## 2.2 DEA: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Neste tópico será mostrado o que é DEA, quais são os objetivos desta metodologia, sua evolução de 1978 a 1984, suas premissas, vantagens e limitações.

### 2.2.1 DEA - Motivação

Farrel (1957) sugere que eficiência é uma medida relativa entre 0 e 1 que mede quão bem uma DMU emprega seus *inputs* para gerar a maior proporção de *outputs* possível. Ele propõe essa definição como sendo Eficiência Técnica e mostra que essa medida pode ser baseada na DMU mais eficiente. A partir da medida de eficiência de Farrel foi que se desenvolveu o DEA (DEAZONE, 2016b).

DEA é um modelo não-paramétrico<sup>9</sup> de programação linear para cálculo de eficiência relativa entre DMU's que aplicam os mesmos insumos e geram os mesmos resultados, mas em intensidades diferentes. O cálculo da eficiência relativa resulta em uma fronteira de eficiência que contém as DMU's eficientes para diferentes níveis de *inputs*, calculado com base, apenas, nas DMU's observadas (BECKENKAMP, 2002). Não é necessária nenhuma transformação nos dados de entrada ou saída, mas estes devem ser medidas ordinais (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978).

Suponha, por exemplo, um conjunto de DMU's que utilizam os mesmos dois recursos (*inputs*) e produzem o mesmo resultado (*output*) conforme mostrado no Quadro 3 a seguir.

---

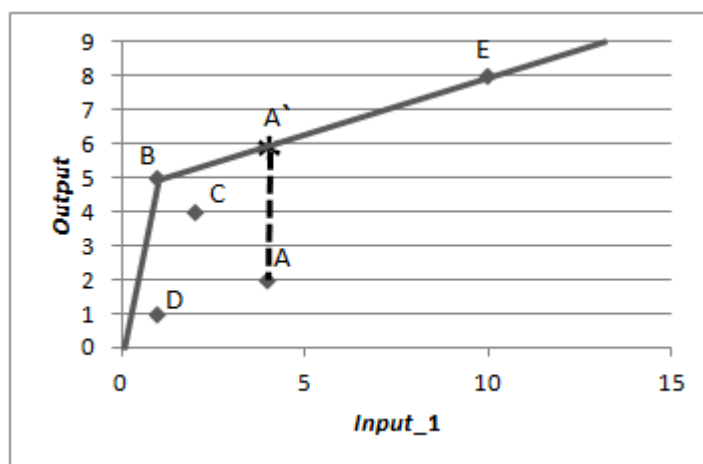
<sup>9</sup> Modelo não-paramétrico: modelo que não exige pré-definição do comportamento da população de onde os dados são coletados, ou seja, não é necessário inferir características sobre a população. Todas as características são definidas pela amostra de dados (TRIOLA, 2008).

DMU	Input 1	Input 2	Output
A	4	3	2
B	1	6	5
C	2	3	4
D	1	2	1
E	10	5	8

Quadro 3- Dados de exemplo.

Fonte: Mello et al., 2005.

Cada DMU apresenta uma combinação de intensidades de *inputs* diferentes que resulta em uma intensidade de *output* gerada pelo seu processo produtivo. Se considerarmos que cada DMU utiliza apenas o *input* 1 para gerar seu *output*, a fronteira de eficiência, com retornos proporcionais à escala, pode ser vista Na Figura 2.

Figura 2 - Fronteira de eficiência *output* x *input*.

Fonte: Do Autor.

Pela modelagem DEA de eficiência relativa, existe uma infinidade de DMU's virtuais que se aloca sobre a linha  $\overline{BE}$  que se forma por uma combinação linear entre B e E. Então, para o nível de *inputs* de A ( $Input_1 = 4$ ), por exemplo, existe uma DMU virtual ( $A'$ ) cujo  $Input_1 = 4$  e  $Output = 6$ . Ou seja, comparativamente, B e E são eficientes e as demais DMU's podem melhorar seus resultados ao nível de uma combinação linear entre as DMU's eficientes.

Passando, agora, a considerar os dois *inputs* do quadro de dados, temos que a produtividade do *input* 1 é dada por  $\frac{Output}{Input\ 1}$  e a produtividade do *input* 2 é dada por  $\frac{Output}{Input\ 2}$ . Assim, a Figura 3 a seguir mostra a fronteira de eficiência para as relações de produtividade de cada DMU.

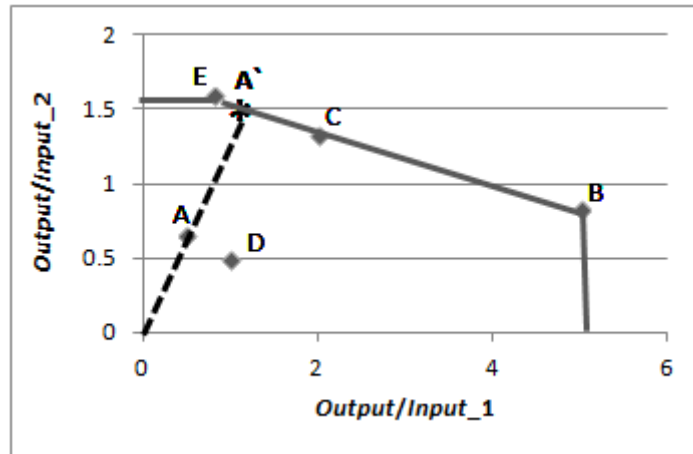


Figura 3 - Fronteira de eficiência  $out/in_1$  x  $out/in_2$   
Fonte: Do Autor.

Assim, temos que E, C e B são DMU's eficientes. Todas as demais devem aumentar seus resultados ou diminuir sua utilização de recursos para alcançarem os níveis de eficiência das DMU's virtuais associadas. Ao aumentarmos mais o número de *inputs* ou de *outputs*, fica inviável demonstrar a fronteira de eficiência graficamente. Porém, independente do número de variáveis, as DMU's ineficientes vão sempre se comparar ao grupo de DMU's eficientes cuja combinação linear das mesmas gere uma DMU virtual para aquela ineficiente.

### 2.2.2 DEA - CCR Seminal (1978)

O primeiro modelo DEA conhecido como CCR Seminal foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978. Este modelo é apresentado abaixo.

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r * y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i * x_{i0}} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r * y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i * x_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0;$$

$$r = 1, 2, \dots, s;$$

$$i = 1, 2, \dots, m.$$

Neste modelo consideramos as observações de  $n$  DMU's que empregam  $m$  *inputs* diferentes e geram  $s$  resultados diferentes.  $u_r$  são os pesos respectivos de cada *output*,

variando do *output* 1 ao *output*  $s$ .  $v_i$  são os pesos respectivos de cada *input*, variando do *input* 1 ao *input*  $m$ . As variáveis do modelo são os pesos que devem ser não-negativos, e os parâmetros são as intensidades de cada *input* e *output* de cada DMU. Esse modelo admite retornos proporcionais à escala, ou seja, mudanças na intensidade dos *inputs* resulta em mudanças proporcionais na intensidade dos *outputs* (MELLO ET AL., 2005).

A eficiência  $h_0$  é definida como uma razão da soma ponderada de todos os *outputs* sobre uma soma ponderada de todos os *inputs*. O objetivo deste modelo é, então, maximizar essa eficiência para uma determinada DMU, de índice 0. A  $DMU_0$  é uma DMU do conjunto de DMU's observadas  $O = \{DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n\}$  cujo índice foi alterado para 0 com o objetivo de analisá-la. Porém, seu índice inicial, 1, 2, ..., ou  $n$ , deve ser preservado para o cálculo das restrições do modelo (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978).

Nenhuma DMU observada pode ter sua eficiência maior que 1 quando a mesma é calculada com os pesos escolhidos pelo modelo. Portanto, faz-se necessária a restrição de que, para todas as DMU's, suas respectivas eficiências sejam, no máximo, 1. Com essa formulação, o modelo resultará em um conjunto de pesos que mais favoreçam a DMU em análise,  $DMU_0$  (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Se, com o conjunto de pesos resultantes,  $h_0$  é menor que 1, isso implica que, mesmo com o conjunto de pesos mais favorável à  $DMU_0$ , existe, pelo menos, uma outra DMU que alcançou o limite de 1 com esse conjunto de pesos. Logo, a  $DMU_0$  em estudo não é eficiente, pois existe uma outra DMU observada que tem eficiência melhor que essa com o mesmo conjunto de pesos, que, por característica da formulação do modelo, é o conjunto de pesos mais favorável que pode ser definido para a  $DMU_0$ . As DMU's que alcançam a eficiência com o conjunto de pesos que é o melhor para a  $DMU_0$  são os *benchmarks* para a  $DMU_0$  (DEAZONE, 2016c).

Este modelo formulado deve, então, ser resolvido para cada DMU observada. Neste caso, primeiramente, a primeira DMU observada deve assumir o índice 0 para ser considerada na função objetivo e, então, resolve-se o problema. Depois, a segunda DMU observada assume o índice 0 e assim por diante até que todas as DMU's tenham sido consideradas na função objetivo, sendo uma de cada vez. Vale lembrar que o índice original de cada DMU deve ser mantido para o cálculo das restrições. A cada solução, é gerado um conjunto de pesos diferentes que mais favoreçam a  $DMU_0$ , em análise. Portanto, essa formulação valoriza o que cada  $DMU_0$  tem de mais favorável (*inputs* e/ou *outputs*) e reduz a importância dos aspectos menos favoráveis (*inputs* e/ou *outputs*) valorizando a forma com que essa  $DMU_0$  resolveu empregar seus insumos na geração de seus resultados (BECKENKAMP, 2002). Se,

mesmo com o conjunto de pesos mais favorável, a  $DMU_0$  não alcançou a eficiência  $h_0 = 1$ . Então, esta eficiência não será alcançada com nenhum outro conjunto de pesos (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978).

Esta primeira formulação sugerida é de programação fracionária, mas pode ser transformada em programação linear conforme discutido no texto de Charnes, Cooper e Rhodes em 1978. A formulação deste mesmo modelo em PPL é apresentada abaixo.

$$\max z_0 \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} -\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j + y_{r0} * z_0 &\leq 0; & r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j &\leq x_{i0}; & i = 1, 2, \dots, m \\ \lambda_j &\geq 0; & j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

É possível provar a equivalência desses dois modelos via regras de linearização de problemas conforme discutido em Charnes, Cooper e Rhodes (1978). No entanto, a interpretação em termos de eficiência será discutida neste trabalho com o objetivo de deixar claro o entendimento da funcionalidade do modelo. Este modelo é chamado de Modelo do Envelopamento – CCR Seminal. Nesta formulação,  $z_0$  é uma medida que queremos maximizar, esta medida tem relação com a eficiência da  $DMU_0$ , em análise no momento.

A primeira restrição diz respeito aos *outputs* e a segunda aos *inputs*. A primeira restrição é repetida para cada *output*, são, então,  $s$  linhas de restrições, uma para cada *output*. Essa restrição sugere que uma combinação linear da intensidade de dado *output* em diferentes  $DMU$ 's (da  $DMU_1$  a  $DMU_s$ ) seja maior ou igual à intensidade do mesmo *output* na  $DMU_0$  multiplicado por um fator  $z_0$ . Cada  $DMU$  contribui com uma proporção da intensidade de seu *output* definida por  $\lambda_j$ , sendo  $\lambda_j$  sempre, no mínimo, 0.

$z_0$  será, no mínimo, 0, já que o objetivo é maximizar esta variável, sendo a mesma tendo que ser menor ou igual à um valor que é sempre positivo  $(\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j)$ . A segunda restrição, de forma similar à primeira, sugere que uma combinação linear da intensidade de dado *input* em diferentes  $DMU$ 's seja menor ou igual à intensidade do mesmo *input* na  $DMU_0$ , em análise. Essa restrição é repetida para cada *input*, são, então,  $m$  linhas de restrições, uma para cada *input*. Analogamente, cada  $DMU$  contribui com uma proporção da



intensidade de seu *input* definida pelo mesmo  $\lambda_j$ . Essas duas restrições implicam que existe um conjunto  $A = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$  tal que uma combinação linear de  $x_{ij} * \lambda_j$  de DMU's observadas é menor ou igual ao *input* da DMU<sub>0</sub>, ao mesmo tempo que uma combinação linear dos  $y_{rj} * \lambda_j$  de DMU's observadas é maior ou igual a  $y_{r0} * z_0$ . Ou seja, existe uma DMU virtual cuja intensidade de *input* é  $(\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j)$  e a intensidade de *output* é  $(\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j)$ .

$z_0 > 1$  implica que, com uma intensidade de *inputs* menor ou igual à da DMU<sub>0</sub>, a DMU virtual gera, no mínimo, mais do que uma vez a quantidade de *outputs* da DMU<sub>0</sub> (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Ou seja, a DMU<sub>0</sub> é ineficiente com eficiência igual a  $\frac{1}{z_0}$ . Com um raciocínio semelhante, se  $z_0 = 1$ , a DMU<sub>0</sub> pode ser assumida eficiente. Pois nesse caso, o maior valor que  $z_0$  pode assumir é 1, ou seja, a DMU virtual, DMU que apresenta melhor desempenho para o nível de *inputs* da DMU<sub>0</sub>, é tão boa quanto a própria DMU<sub>0</sub>.  $z_0 < 1$  não é possível dado que a função objetivo é para maximizar  $z_0$  e o conjunto  $A = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$  é variável definida pelo próprio modelo.

A formulação acima é conhecida como Modelo do Envelopamento - CCR Seminal Orientado a Outputs. Essa orientação é devida ao  $z_0$  multiplicar a intensidade do *output* indicando o quanto a DMU<sub>0</sub>, em análise, deve aumentar seus resultados para que seja considerada eficiente. No entanto, existem duas orientações clássicas para que uma DMU<sub>0</sub> ineficiente se torne eficiente. Uma forma é a orientação à *outputs* já discutida. Nessa forma, a DMU<sub>0</sub> mantém seu nível de *input* constante e aumenta seu nível de *output* até se tornar eficiente, nesse caso até passar de  $y_{r0}$  para  $y_{r0} * z_0$ . A outra orientação é a *inputs*, onde uma DMU<sub>0</sub> ineficiente pode se tornar eficiente se mantiver seus níveis de *outputs* constantes e reduzir a quantidade de insumos (BECKENKAMP, 2002). Neste caso, quando reduzir seus *inputs* de  $x_{r0}$  para  $x_{r0} * f_0$  com a formulação seguinte.

$$\min f_0 \quad (5)$$

Sujeito a:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j + y_{r0} \leq 0; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq x_{i0} * f_0; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

Nesta formulação, recíproca à anterior, chamada de Modelo do Envelopamento - CCR Seminal Orientado a Inputs o objetivo é minimizar  $f_0$  que é a medida de eficiência da  $DMU_0$ . Raciocinando de forma similar à anterior, o problema sugere que existe uma DMU virtual que, para gerar um nível de *output* maior ou igual à  $DMU_0$ , consome, no máximo, o mesmo nível de *input* da  $DMU_0$  multiplicado pelo fator  $f_0$   $x_{i0} * f_0$ .  $f_0 \geq 0$  pois  $f_0 * x_{i0}$  deve ser maior que algo não-negativo  $(\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j)$  dado que  $\lambda_j \geq 0 \forall j$ .  $f_0 < 1$  implica que a DMU virtual consegue resultados tão bons quanto a  $DMU_0$  com, apenas, uma parcela dos *inputs* usados pela  $DMU_0$ , logo, a  $DMU_0$  é ineficiente. Porém, se  $f_0 = 1$ , no mínimo, a DMU virtual é tão eficiente quanto a  $DMU_0$ , logo, a  $DMU_0$  é eficiente. Como o problema é de minimizar,  $f_0 \leq 1$  sempre dado as restrições do modelo.

Com isso, a seguir são apresentados os dois modelos do Envelopamento – CCR Seminal com diferentes orientações lado a lado.

Orientação a Outputs

$$\max z_0 \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j \geq y_{r0} * z_0;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq x_{i0};$$

$$\lambda_j \geq 0;$$

Orientação a Inputs

$$\min f_0 \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j \geq y_{r0}; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq x_{i0} * f_0; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

É possível que se faça uma DMU<sub>0</sub> ineficiente ser eficiente com uma combinação de aumento de *outputs* e diminuição de *inputs* ao mesmo tempo, no entanto essa orientação combinada não será discutida neste texto.

Tomando como base as equações acima (6 e 7), temos que as restrições são como se segue para os modelos com as duas orientações.

Orientação a Outputs

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j \geq y_{r0} * z_0;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq x_{i0};$$

Orientação a Inputs

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j \geq y_{r0}; \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (8) \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq x_{i0} * f_0; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Essas restrições, então, permitem folgas. Substituindo os símbolos de  $\geq$  e  $\leq$  por  $=$  e acrescentando as folgas  $s_r^+$  para os outputs e  $s_i^-$  para os inputs, temos:

Orientação a Outputs

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = (y_{r0} * z_0) + s_r^+; \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j = x_{i0} - s_i^-;$$

Orientação a Inputs

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = y_{r0} + s_r^+; \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq (x_{i0} * f_0) - s_i^-; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

A formulação do Envolvimento – CCR Seminal com restrições de igualdade e folgas é apresentada a seguir.

Orientação a Outputs

$$\max z_0 \quad (12)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = (y_{r0} * z_0) + s_r^+;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j = x_{i0} - s_i^-;$$

$$\lambda_j \geq 0;$$

Orientação a Inputs

$$\min f_0 \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = y_{r0} + s_r^+; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq (x_{i0} * f_0) - s_i^-; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

Nota-se, então, que para uma DMU<sub>0</sub> ser eficiente, com orientação a *outputs*, a mesma deve passar seus níveis de *outputs* de  $y_{r0}$  para  $(y_{r0} * z_0 + s_r^+)$  e seus níveis de *inputs* de  $x_{i0}$  para  $(x_{i0} - s_i^-)$ , pois a folga, apesar de não afetar o valor de  $z_0$ , ainda é um valor em que a DMU virtual é melhor que a DMU<sub>0</sub>. Da mesma forma, para a orientação a *inputs*, a DMU<sub>0</sub> que é ineficiente deve passar seus níveis de *inputs* de  $x_{i0}$  para  $(x_{i0} * f_0 - s_i^-)$  e seus níveis de *outputs* de  $y_{r0}$  para  $(y_{r0} + s_r^+)$ . Conforme destaca Beckenkamp (2002), esses valores são metas eficientes para a DMU<sub>0</sub>. Com essas mudanças pode-se garantir que a DMU<sub>0</sub> é tão eficiente quanto a DMU virtual conforme provado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Essas são condições que garantem eficiência de Pareto como foi destacado pelos mesmos autores. Ou seja, com esses níveis de *inputs* e *outputs*, uma DMU não consegue melhorar seu resultado sem aumentar o uso de recursos e nem diminuir os recursos sem diminuir, também, seus resultados (MELLO ET AL., 2005).

Portanto, para que uma DMU<sub>0</sub> seja eficiente, não basta  $\frac{1}{z_0} = 1$  ou  $f_0 = 1$ , o somatório de todas as folgas  $(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^-) = 0$  também é necessário para garantir essa eficiência. Portanto, as funções objetivos são modificadas como segue.

Orientação a Outputs

$$\max z_0 + \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right)$$

$$r = 1, 2, \dots, s$$

$$s = 1, 2, \dots, m$$

Orientação a Inputs

$$\min f_0 - \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (15)$$

$$r = 1, 2, \dots, s$$

$$s = 1, 2, \dots, m$$

No entanto, ainda é mais importante que o PPL seja resolvido de forma a valorizar mais a maximização de  $z_0$  ou a minimização de  $f_0$  do que a maximização ou minimização de  $(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^-)$ . Para isso então, é necessário que se inclua uma constante ( $\varepsilon$ ) suficientemente pequena multiplicando  $(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^-)$  de forma que seja mais interessante para o modelo se preocupar com  $z_0$  ou  $f_0$  (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Essa constante é chamada de não-arquimediana dado que deve ser pequena o suficiente mas ainda garantir que o problema tenha solução (SOUZA e GOMES, 2013). A seguir o modelo formulado com a constante não-arquimediana.

Orientação a *Outputs*

$$\max z_0 + \varepsilon * \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = (y_{r0} * z_0) + s_r^+;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j = x_{i0} - s_i^-;$$

$$\lambda_j \geq 0;$$

$$s_r^+ \geq 0;$$

$$s_i^- \geq 0;$$

Orientação a *Inputs*

$$\min f_0 - \varepsilon * \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (17)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = y_{r0} + s_r^+; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq (x_{i0} * f_0) - s_i^-; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

$$s_r^+ \geq 0;$$

$$s_i^- \geq 0;$$

Com base nos dados de exemplo do Quadro 3, abaixo segue o modelo de Envelopamento – CCR Seminal Orientado a *Outputs* para o cálculo da eficiência da DMU<sub>A</sub>.

$$\text{Max } z_0 + \varepsilon * (s_1^+ + s_1^- + s_2^-) \quad (18)$$

Sujeito a:

$$2 * \lambda_A + 5 * \lambda_B + 4 * \lambda_C + 1 * \lambda_D + 8 * \lambda_E = (2 * z_0) + s_1^+;$$

$$4 * \lambda_A + 1 * \lambda_B + 2 * \lambda_C + 1 * \lambda_D + 10 * \lambda_E = 4 - s_1^-;$$

$$3 * \lambda_A + 6 * \lambda_B + 3 * \lambda_C + 2 * \lambda_D + 5 * \lambda_E = 3 - s_2^-;$$

$$\lambda_A \geq 0;$$

$$\lambda_B \geq 0;$$

$$\lambda_C \geq 0;$$

$$\lambda_D \geq 0;$$

$$\lambda_E \geq 0;$$

$$\varepsilon = 0,001.$$

Esta formulação é apenas para demonstrar um exemplo do modelo com dados e facilitar o entendimento. Os resultados obtidos ao resolver este modelo são:

$$z_0 = 2,2. \quad (19)$$

$$s_1^+ = 0; \quad s_1^- = 0; \quad s_2^- = 0.$$

$$\lambda_A = 0; \quad \lambda_B = 0; \quad \lambda_C = 0,5; \quad \lambda_D = 0; \quad \lambda_E = 0,3.$$

Logo, a  $DMU_A$  tem eficiência  $= \frac{1}{2,2} = 0,45$ , sendo ineficiente. Os *benchmarks* para a  $DMU_A$  são a  $DMU_C$  e a  $DMU_E$ . Gráficamente, ao observar a Figura 3, temos que a DMU virtual de A está na reta entre E e C conforme confirmado pelos cálculos. Essa DMU virtual ( $A'$ ) tem seus níveis de *input* e *output* como uma combinação linear daqueles das DMU's E e C ponderados pelos respectivos  $\lambda_E$  e  $\lambda_C$ .

$$Input_1(DMU_{A'}) \rightarrow 2 * \lambda_C + 10 * \lambda_E = 2 * 0,5 + 10 * 0,3 = 4. \quad (20)$$

$$Input_2(DMU_{A'}) \rightarrow 3 * \lambda_C + 5 * \lambda_E = 3 * 0,5 + 5 * 0,3 = 3.$$

$$Output(DMU_{A'}) \rightarrow 4 * \lambda_C + 8 * \lambda_E = 4 * 0,5 + 8 * 0,3 = 4,4.$$

O Quadro 4 a seguir traz o comparativo das intensidades dos recursos e produtos da  $DMU_A$  e da  $DMU_{A'}$ .

DMU	Input 1	Input 2	Output
A	4	3	2
A'	4	3	4.4

Quadro 4 - DMU virtual para  $DMU_A$  CCR Seminal.

Fonte: Do Autor.

Repare que, a  $DMU_{A'}$  é mais eficiente que a  $DMU_A$  pois utiliza os mesmos recursos e produz mais resultado que a primeira. Como a orientação é a *outputs*, para que a  $DMU_A$  seja eficiente, ela deve migrar para o ponto da  $DMU_{A'}$  aumentando, apenas, a intensidade do *output*.

Este modelo serviu, apenas, para o cálculo de eficiência da  $DMU_A$ , tendo que ser repetido para as demais DMU's quando se deseja encontrar a eficiência de todas.

O modelo Dual das formulações do Envolvimento já apresentadas também é discutido em vários artigos sobre DEA (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978; MELLO ET AL., 2005). Esse modelo é chamado Modelo dos Multiplicadores - CCR Seminal. Alguns textos apresentam, primeiramente, este modelo por conta da transformação do modelo fracionário do CCR Seminal ser mais facilmente entendida com ele, como é o caso de Mello et al. (2005). Abaixo o modelo dos Multiplicadores (Dual) orientado a *outputs* (esquerda) e a *inputs* (direita).

Orientação a Outputs

$$\max w_0 = \sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r \quad (21)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i \leq 0;$$

$$v_i, u_r \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Orientação a Inputs

$$\min g_0 = \sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i \quad (22)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i \leq 0;$$

Retornando à formulação do modelo CCR Seminal fracionário (3), a transformação para o modelo dos Multiplicadores é feita de forma que a fração da função objetivo do modelo fracionário é separada  $\frac{\sum_{r=1}^s u_r * y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i * x_{i0}}$ , um dos componentes dessa fração é considerado constante, igual a 1 (primeira restrição), e o outro componente é maximizado, se este é o numerador, ou minimizado, se este é o denominador (função objetivo). Dessa forma, a fração, que é o indicador de eficiência, continua sendo maximizada, seja na orientação a *inputs* ou na orientação a *outputs*.

A segunda restrição é a linearização da restrição de eficiência das DMU's ser menor que 1  $\left( \frac{\sum_{r=1}^s u_r * y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i * x_{ij}} \leq 1 \right)$ . Nesse caso, garante-se que o numerador daquela restrição deve ser menor ou, no máximo, igual ao seu denominador, ou seja, a fração continua menor que 1.

Nesse modelo, as variáveis são os pesos pelos quais cada *input* e *output* são ponderados ( $u_r$  e  $v_i$ ), de forma a favorecer a DMU<sub>0</sub>, em análise, idêntico ao raciocínio para o modelo fracionário. E, esses pesos devem ser, no mínimo, iguais a zero.

Novamente, com base nos dados de exemplo do Quadro 3, abaixo segue o modelo dos Multiplicadores – CCR Seminal Orientado a *Outputs* para o cálculo da eficiência da DMU<sub>A</sub>.

$$\max w_0 = 2 * u_1 \quad (23)$$

Sujeito a:

$$4 * v_1 + 3 * v_2 = 1;$$

$$(2 * u_1) - (4 * v_1 + 3 * v_2) \leq 0;$$

$$(5 * u_1) - (1 * v_1 + 6 * v_2) \leq 0;$$

$$(4 * u_1) - (2 * v_1 + 3 * v_2) \leq 0;$$

$$(1 * u_1) - (1 * v_1 + 2 * v_2) \leq 0;$$

$$(8 * u_1) - (10 * v_1 + 5 * v_2) \leq 0;$$

$$u_1 \geq 0;$$

$$v_1 \geq 0;$$

$$v_2 \geq 0.$$

Os resultados obtidos ao resolver este modelo relacionado à DMU<sub>A</sub> são:

$$w_0 = 0,45. \quad (24)$$

$$u_1 = 0,227;$$

$$v_1 = 0,045; \quad v_2 = 0,273.$$

Logo, a DMU<sub>A</sub> tem eficiência = 0,45, sendo ineficiente. Esse valor de eficiência é o mesmo obtido via modelo do Envelopamento. Os pesos  $v_1$  e  $v_2$  indicam a importância daqueles *inputs* para a DMU<sub>A</sub>. No caso, o multiplicador do *input* 1 é maior que aquele do *input* 2, logo o *input* 1 contribui mais para a eficiência do processo produtivo de A. Os *benchmarks* para a DMU<sub>A</sub> são as demais DMU's que, dado esse conjunto de pesos ( $u_1, v_1$  e  $v_2$ ) são eficientes. Na tabela abaixo está a eficiência de cada DMU dado esse conjunto de pesos definidos pela DMU<sub>A</sub>.



Tabela 2 - Eficiências relativas a DMU<sub>A</sub> no modelo dos Multiplicadores CCR Seminal

DMU	EFICIÊNCIA
A	$\frac{2 * 0,227}{(4 * 0,045) + (3 * 0,273)} = 0,45$
B	$\frac{5 * 0,227}{(1 * 0,045) + (6 * 0,273)} = 0,68$
C	$\frac{4 * 0,227}{(2 * 0,045) + (3 * 0,273)} = 1,00$
D	$\frac{1 * 0,227}{(1 * 0,045) + (2 * 0,273)} = 0,38$
E	$\frac{8 * 0,227}{(10 * 0,045) + (5 * 0,273)} = 1,00$

Fonte: Do Autor.

Conforme encontrado no modelo do Envolvimento, a DMU<sub>C</sub> e a DMU<sub>E</sub> são *benchmarks* para a DMU<sub>A</sub>, já que elas são eficientes com o conjunto de pesos escolhidos pela DMU<sub>A</sub>.

Novamente, este modelo serviu, apenas, para o cálculo de eficiência da DMU<sub>A</sub>, tendo que ser repetido para as demais DMU's quando se deseja encontrar a eficiência de todas.

### 2.2.3 DEA - CCR Básico (1979)

Em 1979 Charnes, Cooper e Rhodes (apud BECKENKAMP, 2002) reconheceram que o modelo CCR Seminal dos Multiplicadores permitia que alguns *inputs* ou *outputs* não fossem considerados no modelo, dado que seu peso poderia ser igual a 0 (referente aos pesos  $u_r$  e  $v_i$  do modelo CCR Seminal fracionário ou dos Multiplicadores). Isso implica que alguns pesos poderiam assumir 0 fazendo com que seu respectivo *input* ou *output* não fosse relevante para o cálculo da eficiência dado que  $y_{rj} * 0 = 0 \forall rj$  e  $x_{ij} * 0 = 0 \forall ij$  (BECKENKAMP, 2002). Com isso, foi incorporada uma restrição que os pesos fossem maiores que alguma constante não negativa diferente de zero. Essa constante ( $\varepsilon$ ) é definida não-arquimediana de forma que garanta a solução do problema (SOUZA e GOMES, 2013).

A figura a seguir traz o modelo dos Multiplicadores - CCR Básico, que nada mais é do que o modelo dos Multiplicadores CCR Seminal com os ajustes para delimitação dos pesos.

Orientação a Outputs

$$\max w_0 = \sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r \quad (25)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i \leq 0;$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Orientação a Inputs

$$\min g_0 = \sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i \quad (26)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i \leq 0;$$

A formulação Dual para este modelo é o modelo do Envelopamento (16 e 17) já mostrado acima (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984). No entanto, os dois modelos devem assumir o mesmo valor para a constante  $\varepsilon$  não-arquimediana.

O modelo dos Multiplicadores traz como resultado os valores das variáveis pesos de cada *input* e *output* (conjuntos  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$  e  $Y = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ ), enquanto o modelo do Envelopamento traz os valores dos pesos de cada DMU que está sendo comparada (conjunto  $A = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$ ). Os conjuntos  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$  e  $Y = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  servem para identificar quais são os *inputs* e *outputs* que mais favorecem a DMU<sub>0</sub>, em análise. E, quais são os que mais desfavorecem. Já o conjunto  $A = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$  serve para identificar quais DMU's observadas tem objetivos mais semelhantes com a DMU<sub>0</sub>, fazendo dessas os *benchmarks* para a DMU<sub>0</sub> não eficiente.

É possível perceber que o número de restrições do modelo dos Multiplicadores (Dual, 21 e 22) é  $(n + 1 + m + s)$ , enquanto que no modelo do Envelopamento (Primal, 16 e 17) é  $(m + s)$ . Como o número de DMU's é, em geral, maior que o número de *inputs* + *outputs* ( $n + 1 > m + s$ ), o modelo Primal do Envelopamento é preferido ao modelo Dual dos Multiplicadores pela maior facilidade de resolução do PPL (DEAZONE, 2016d).

Uma crítica apontada por Souza e Gomes (2013) cai sobre como deve ser definido a constante não-arquimediana de forma satisfatória. Essa constante aparece tanto no modelo dos Multiplicadores (21 e 22) quanto no modelo do Envelopamento (16 e 17). Os autores defendem que esta constante não seja definida de forma aleatória com um valor tão pequeno quanto necessário.

## 2.2.4 DEA - BCC Básico (1984)

Já em 1984, Banker, Charnes e Cooper aprimoraram o modelo DEA – CCR para que pudesse assumir retornos variáveis à escala. Isso foi garantido ao inserir a restrição  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ , no modelo primal do Envelopamento. Com essa restrição, é deixado o axioma da fronteira proporcional, e assumido o da fronteira convexa (MELLO ET AL., 2005).

Abaixo segue o Modelo do Envelopamento – BCC Básico para orientação a *outputs* e a *inputs*.

### Orientação a Outputs

$$\max z_0 + \varepsilon * \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (27)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = (y_{r0} * z_0) + s_r^+;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j = x_{i0} - s_i^-;$$

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

$$\lambda_j \geq 0;$$

### Orientação a Inputs

$$\min f_0 - \varepsilon * \left( \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \quad (28)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} * \lambda_j = y_{r0} + s_r^+; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} * \lambda_j \leq (x_{i0} * f_0) - s_i^-; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

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

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

O Dual do modelo do Envelopamento acima é o Modelo dos Multiplicadores – BCC Básico que é apresentado a seguir.

Orientação a *Outputs*

$$\max w_0 = \sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r + M \quad (29)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i + M \leq 0;$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad r = 1, 2, \dots, s \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Orientação a *Inputs*

$$\min g_0 = \sum_{i=1}^m x_{i0} * v_i + M \quad (30)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s y_{r0} * u_r = 1;$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} * u_r - \sum_{j=1}^n x_{ij} * v_i + M \leq 0;$$

Com a inclusão da restrição  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  no modelo do Envelopamento, o modelo dos Multiplicadores passa a incorporar na função objetivo a variável M para orientação a *outputs* ou a *inputs* (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984; BECKENKAMP, 2002). Esta variável indica se o retorno, em torno da solução eficiente para a DMU<sub>0</sub> é crescente (M > 0), decrescente (M < 0) ou constante (M = 0) (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984). Nota-se que a solução eficiente para a DMU<sub>0</sub> orientada a *outputs*, no modelo do Envelopamento, é  $y_{r0} = (y_{r0} * z_0 + s_r^+)$  e  $x_{i0} = (x_{i0} - s_i^-)$ . E, para a orientação a *inputs* é  $x_{i0} = (x_{i0} * f_0 - s_i^-)$  e  $y_{r0} = (y_{r0} + s_r^+)$ .

Como a formulação do modelo BCC inclui uma restrição a mais que o modelo CCR, esse novo modelo é mais restritivo. Com isso, a eficiência calculada para a DMU<sub>0</sub> pelo modelo BCC será maior ou igual ao mesmo indicador calculado pela formulação CCR (BECKENKAMP, 2002). Além disso, quando os indicadores são iguais calculados pelas duas formulações, o retorno é constante a escala para a vizinhança da solução ótima da DMU<sub>0</sub> na fronteira de eficiência.

Com base nos dados de exemplo do Quadro 3, abaixo segue o modelo de Envelopamento – BCC Básico orientado a *Outputs* para o cálculo da eficiência da DMU<sub>A</sub>.

$$\max z_0 + \varepsilon * (s_1^+ + s_1^- + s_2^-) \quad (31)$$

Sujeito a:

$$2 * \lambda_A + 5 * \lambda_B + 4 * \lambda_C + 1 * \lambda_D + 8 * \lambda_E = (2 * z_0) + s_1^+;$$

$$4 * \lambda_A + 1 * \lambda_B + 2 * \lambda_C + 1 * \lambda_D + 10 * \lambda_E = 4 - s_1^-;$$

$$3 * \lambda_A + 6 * \lambda_B + 3 * \lambda_C + 2 * \lambda_D + 5 * \lambda_E = 3 - s_2^-;$$

$$\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E = 1$$

$$\lambda_A \geq 0;$$

$$\lambda_B \geq 0;$$

$$\lambda_C \geq 0;$$

$$\lambda_D \geq 0;$$

$$\lambda_E \geq 0;$$

$$\varepsilon = 0,001.$$

Esta formulação é apenas para demonstrar um exemplo do modelo com dados e facilitar o entendimento. Os resultados obtidos ao resolver este modelo são:

$$z_0 = 2,0. \quad (32)$$

$$s_1^+ = 0; \quad s_1^- = 2; \quad s_2^- = 0.$$

$$\lambda_A = 0; \quad \lambda_B = 0; \quad \lambda_C = 1; \quad \lambda_D = 0; \quad \lambda_E = 0.$$

Logo, a DMU<sub>A</sub> tem eficiência =  $\frac{1}{2} = 0,5$ , sendo ineficiente; porém mais eficiente que o resultado pelo modelo CCR Básico (0,45). O *benchmark* para a DMU<sub>A</sub> é a DMU<sub>C</sub>, somente.

Os gráficos a seguir mostram a fronteira com retornos variáveis à escala para o exemplo do Quadro 3. No primeiro gráfico, a fronteira para o *input* 1 mostra que a DMU<sub>A</sub> e a DMU<sub>C</sub> são ineficientes. Já no segundo gráfico, somente a DMU<sub>A</sub> é ineficiente. Como a DMU<sub>A</sub> se apresenta ineficiente para todos os *inputs*, a DMU<sub>A</sub> é ineficiente, como calculado no PPL. Além disso, a menor distância entre a DMU<sub>A</sub> e a fronteira de eficiência se dá para o *input* 2, sendo a DMU<sub>C</sub> *benchmark* para a DMU<sub>A</sub>, confirmando, mais uma vez, o resultado do PPL.

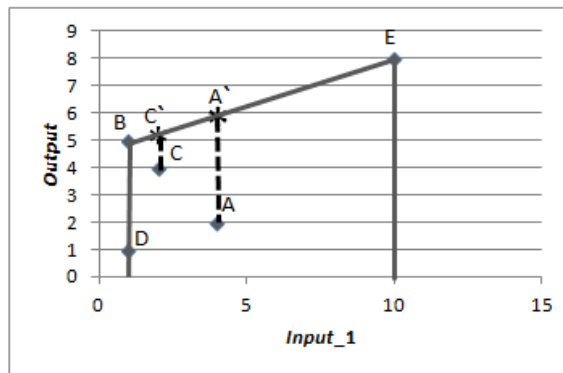


Figura 4 – Fronteira de eficiência *out x in\_1* DMU<sub>A</sub> BCC Básico.  
Fonte: Do Autor.

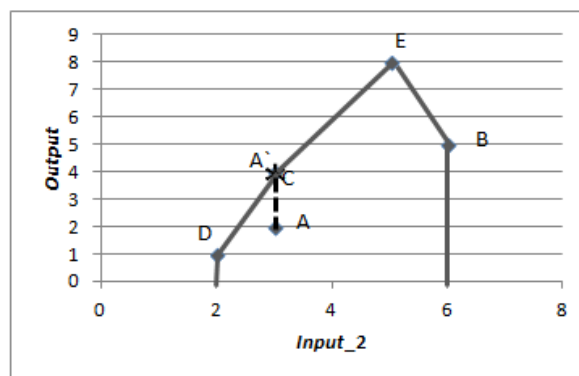


Figura 5 – Fronteira de eficiência *out x in\_2* DMU<sub>A</sub> BCC Básico.  
Fonte: Do Autor.

Assim, a DMU virtual ( $A'$ ) tem seus níveis de *input* e *output* como uma combinação linear, somente, da DMU<sub>C</sub> ponderado pelo respectivo  $\lambda_C$ . Nesse caso, devemos considerar a folga que é não-nula.

$$Input_1(DMU_{A'}) \rightarrow (2 * \lambda_C) + s_1^- = (2 * 1) + 2 = 4. \quad (33)$$

$$Input_2(DMU_{A'}) \rightarrow (3 * \lambda_C) + s_2^- = (3 * 1) + 0 = 3.$$

$$Output(DMU_{A'}) \rightarrow (4 * \lambda_C) - s_1^+ = (4 * 1) + 0 = 4.$$

O quadro abaixo traz o comparativo das intensidades dos recursos e produtos da DMU<sub>A</sub> e da DMU<sub>A'</sub>.

DMU	Input 1	Input 2	Output
A	4	3	2
A'	4	3	4

Quadro 5 - DMU virtual para DMU<sub>A</sub> BCC Básico.  
Fonte: Do Autor.

Repare que, a DMU<sub>A'</sub> é mais eficiente que a DMU<sub>A</sub> pois utiliza os mesmos recursos e produz mais resultado que a primeira. Como a orientação é a *outputs*, para que a DMU<sub>A</sub> seja

eficiente, ela deve migrar para o ponto da  $DMU_A$ , aumentando, apenas, a intensidade do *output*.

Este modelo serviu, apenas, para o cálculo de eficiência da  $DMU_A$ , tendo que ser repetido para as demais  $DMU$ 's quando se deseja encontrar a eficiência de todas.

### 2.2.5 DEA – Premissas

A principal premissa do DEA é o cálculo da eficiência relativa. Isto é, cada  $DMU$  é comparada com uma  $DMU$  virtual que apresenta a mesma intensidade de *outputs* (orientação a *inputs*) ou de *inputs* (orientação a *outputs*) gerada a partir de uma combinação linear das  $DMU$ 's mais eficientes próximas àquela proporção de *outputs/inputs* (MELLO ET AL., 2005). Essa combinação linear instiga outra premissa que é a de que a fronteira eficiente é definida, em seus vértices, pelas  $DMU$ 's eficientes. No entanto, entre essas  $DMU$ 's, as arestas da fronteira eficiente são determinadas por combinação linear dessas  $DMU$ 's eficientes. Ou seja, a um nível de *outputs/inputs* onde não foi detectado  $DMU$  eficiente, é assumido que toda  $DMU$  ineficiente desse nível alcançasse, pelo menos, o nível da aresta. Supõe-se, então, que existe um retorno proporcional à escala, e essa proporção é definida pela combinação linear entre as duas  $DMU$ 's eficientes com nível de *outputs* e *inputs* mais próximos da  $DMU$  em comparação.

Além disso, DEA assume que todos os *inputs* e *outputs* são ordinais e presentes em todas as  $DMU$ 's e variam apenas em intensidade. Para os *inputs*, prevalece a premissa de que quanto menor a intensidade, melhor. Em oposição à premissa dos *outputs* que, quanto maior a intensidade, melhor. Logo, a  $DMU$  mais eficiente será sempre a que produz mais com menos de acordo com a definição popularizada da produtividade.

### 2.2.6 DEA - Vantagens

Ao calcular eficiência a partir de médias, os *outliers* são considerados apenas desvios do comportamento. No entanto, em DEA, os *outliers* podem ser as  $DMU$ 's mais eficientes de um conjunto de  $DMU$ 's observadas que passam, então, a serem os *benchmarks* para as demais  $DMU$ 's (MELLO ET AL., 2005).

DEA não exige que transforme todos os *inputs* e *outputs* em uma única unidade, como é o caso da transformação em dinheiro. Isso faz dessa técnica útil na medição de

DMU's não-lucrativas que, já em 1978, foi a motivação para os autores desenvolverem a técnica (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Além disso, as intensidades observadas podem estar em qualquer unidade de medida que o resultado continua o mesmo. Isto é, pode-se observar o *output* 1, por exemplo, em metros (m) ou quilômetros (km). Mas, essa unidade deve ser constante para um mesmo *output* ou *input* por todas as DMU's.

Essa técnica também leva em consideração o objetivo específico de cada DMU ao permitir que cada uma escolha um conjunto de pesos que mais as favoreçam (BECKENKAMP, 2002). Ou seja, ele valoriza o investimento em recursos de cada DMU e seu plano de produção (geração de resultados). Além disso, a eficiência é calculada com base, apenas, nas observações e não depende das opiniões de decisores (MELLO ET AL., 2005).

Outra vantagem do DEA é que, além de indicar a eficiência relativa da  $DMU_0$ , ele também mostra quais são as DMU's que são *benchmarks* para a  $DMU_0$  e oferece uma meta para que a  $DMU_0$ , quando não eficiente, se torne eficiente (MELLO ET AL., 2005).

### 2.2.7 DEA - Limitações

A formulação do DEA exige que todas as DMU's tenham os mesmos *inputs* e os mesmos *outputs* variando só a intensidade dos mesmos. Todas as observações devem ser quantitativas e não pode haver dado ausente (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Todas as DMU's também devem estar sob as mesmas condições de mercado para que a fronteira de eficiência seja justa (MELLO ET AL., 2005). Se não, as DMU's eficientes serão, na verdade, favorecidas pelas condições de mercado.

Para o modelo dos Multiplicadores, o conjunto de pesos obtidos  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$  e  $Y = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  podem não retratar a realidade da  $DMU_0$  no contexto de seu processo conforme estudado por Beckenkamp (2002). Para o caso dos resultados obtidos de um processo, por exemplo, o resultado 1 pode ser mais importante, ou mais relevante, que o resultado 2 para a  $DMU_0$ . No entanto,  $u_2 > u_1$  pelo resultado do modelo. Alguns autores fornecem estratégias para contornar esse problema (BECKENKAMP, 2002), que não serão discutidas neste texto.

É discutido, também, o poder discriminatório do DEA. Ao escolher um conjunto de pesos  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$  e  $Y = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  que melhor favoreçam a  $DMU_0$ , este modelo pode resultar em muitas DMU's eficientes o que não favorece na discriminação entre essas DMU's conforme destacado por Mello et al. (2005). O mesmo autor mostra alguns outros autores que



tem oferecido maneiras de contornar esse problema. Uma dessas maneiras é aumentar o número de DMU's, quanto mais DMU's, maior poder discriminatório para o modelo DEA. Outras maneiras mais complexas são oferecidas, porém não serão discutidas nesse trabalho.

Conforme discutido anteriormente, é uma vantagem do DEA não exigir tratamento *à priori* dos dados. Porém, alguns autores afirmam que se deve tomar alguns cuidados antes de popular o PPL. Sarkis (2006) afirma que normalizar os dados pode favorecer a computação dos resultados e evitar erros de arredondamento em softwares com linguagem de programação como o LINDO®. Além disso, Sarkis afirma que a modelagem DEA não permite dados negativos, sendo que dados positivos são preferenciais ao 0 dado que a resolução computacional é mais rápida e simples com esses conjuntos de dados.

## 2.3 DEA NA AVALIAÇÃO DE CURSOS DE GRADUAÇÃO NO BRASIL

Esta seção resume os dois principais textos lidos com aplicação de DEA na educação superior no Brasil. O primeiro traz uma aplicação em cursos de graduação e o segundo em departamentos de uma faculdade.

### 2.3.1 Avaliação de Cursos de Graduação em Administração no Sul do Brasil (2000)

Dalmas (2000) sugere um modelo matemático para avaliação de cursos de graduação de uma mesma área acadêmica utilizando DEA. Depois de propor seu modelo, ele testa o mesmo num banco de dados de cursos de Administração da região sul do Brasil, contemplados pelo ENC<sup>10</sup> (Exame Nacional de Cursos) de 1998. Os objetivos do trabalho de Dalmas compreendem que a avaliação seja usada para a melhoria dos cursos, que os cursos devem ser avaliados globalmente, e que a identidade de cada curso deve ser preservada.

Dentre os 94 cursos de Administração da região sul do Brasil, que participaram do ENC-98, 65 foram escolhidos por Dalmas por não apresentarem dados ausentes. Dentre os dados disponíveis para teste, o autor escolheu quatro para compor seu modelo. Desses quatro, dois são assumidos *inputs* e dois *outputs*. O autor baseou sua escolha no procedimento iterativo de NORMAN e STOKER (1993, apud DALMAS, 2000). Esse procedimento garantiu ao autor um modelo com poucas variáveis que fossem bastante significativas. Além

---

<sup>10</sup> ENC: Exame Nacional de Cursos, prova de avaliação de conhecimentos de caráter curricular obrigatório para todos os concluintes de curso. Encerrada em 2003 (INEP, 2016i).

disso, o autor testou a correlação negativa das variáveis assumidas como *inputs* e a correlação positiva das variáveis assumidas como *outputs* com o desempenho dos cursos para confirmar se sua escolha fazia sentido.

As variáveis escolhidas são apresentadas no quadro a seguir.

<i>INPUTS</i>	HORA	Total de horas contratadas em 1998 para o curso.
	INGR	Número de ingressantes no curso em 1995.
<i>OUTPUTS</i>	NOTA	Média das notas dos formandos no ENC-98.
	DIPL	Número de formandos pelo curso em 1998.

Quadro 6- Variáveis para avaliação dos cursos de Administração do Sul.  
Fonte: Dalmas, 2000 (Adaptado).

HORA é a soma ponderada do número de professores pelos pesos que representam a carga horária de cada um. Essa forma de cálculo, segundo o autor, foi proposta pela ANDIFES (1994; p. 18 e 21, apud DALMAS, 2000). Os pesos são: 8 para professores com carga horária maior que 40h (inclusive); 4 para professores com carga horária entre 20 (inclusive) e 40h; 2 para professores que dedicam entre 10 (inclusive) e 20h; e, 1 para professores com carga horária menor que 10h. Os dados variaram entre 23 e 668 para esse *input* nos cursos observados.

INGR é a soma de todos os alunos ingressantes no curso no ano de 1995. Os valores variaram de 30 a 467 nas observações.

NOTA é a média das notas dos formandos participantes do ENC-98. As médias variaram de 25 a 50 entre os cursos.

DIPL é a soma total de formandos em 1998, incluindo os diplomados que ainda não tinham conseguido aprovação no ENC. Esse *output* variou de 10 a 231 nas observações.

Com essas variáveis o autor foi capaz de caracterizar cada curso pelo seu corpo docente (HORA), seu corpo discente (NOTA e DIPL) e seu porte/infraestrutura (INGR).

Definidos os *inputs* e *outputs*, o autor, então, escolheu os modelos CCR Básico e BCC Básico com orientação a *outputs* para medir a eficiência dos cursos de Administração escolhidos. 10 cursos foram tomados como eficientes pelo modelo CCR Básico e mais 7 pelo modelo BCC Básico. 46 cursos não foram eficientes em nenhuma das duas formulações. A seguir um trecho dos resultados apresentados por Dalmas em seu trabalho.

Não há curso de Administração na Região Sul com porte pequeno demais que o impeça de operar com a produtividade máxima observada, (...). Ademais, dos 12 cursos cujo porte é adequado para operar com a

produtividade máxima observada, somente dois apresentam ineficiência de gestão. Assim, tudo indica que os retornos de escala são não crescentes para os cursos de graduação em Administração na Região Sul. Tal característica pode ser causada pelo fato de os recursos humanos (HORA) e materiais (INGR) disponíveis nos cursos pequenos serem destinados quase que unicamente às atividades de graduação, contrastando com os cursos de porte grande, nos quais esses recursos podem estar sendo alocados a outras atividades, como à pós-graduação e à extensão (DALMAS, 2000, p.70).

O autor não deixa claro qual dos dois modelos representou melhor a eficiência dos cursos observados. No entanto, ele frisou que os cursos apresentam retornos não crescentes a escala e frisou que buscassem alcançar a produtividade máxima.

O autor, por fim, apresenta as metas eficientes para os cursos ineficientes com orientação a *outputs* tanto para o modelo CCR Básico quanto para o BCC Básico e identificou os cursos *benchmarks* para cada curso ineficiente.

Dalmas destaca que os cursos de grande porte podem ter sido prejudicados no cálculo da eficiência dado que o *input* HORA, que indica a quantidade de horas dedicadas por professores para aquele curso, pode ter sido observado maior que o que acontece na realidade. Isso porque os professores de cursos de grande porte não dedicam todo seu tempo exclusivamente para o curso, e sim, dividem sua dedicação com pós-graduação, pesquisa e extensão. Considerando apenas o modelo BCC Básico, essa característica não influenciaria negativamente o curso se todos os cursos de grande porte compartilhassem da mesma estratégia. Podendo então, termos como resultado um retorno decrescente à escala. Além disso, não foram incluídos em seu modelo dados socioeconômicos dos discentes ou da região onde se localiza o curso, e o autor afirma que esses dados poderiam ser relevantes variáveis no cálculo da eficiência.

### 2.3.2 Avaliação de Departamentos Acadêmicos da UFSCar (2003)

Panepucci (2003) avalia 30 departamentos acadêmicos de diversas áreas de ensino nos dois campi da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) com a técnica DEA para cálculo de eficiência.

Foram dois *inputs* escolhidos pela autora na avaliação dos departamentos. São eles: Docentes Tempo Exclusivo (DTE) e Índice de Titulação dos Docentes (IndTitDoc). O primeiro refere-se ao número absoluto de docentes em dedicação exclusiva (40h) somados à metade do número de docentes de dedicação parcial (20h), variando de 5 a 45,5 nos dados. E, o segundo refere-se a uma soma ponderada de docentes com pesos respectivos à sua titulação,

sendo 1 para graduados, 2 para especialistas, 3 para mestres e 5 para doutores. Essa soma é, depois, dividida pelo número total de docentes para que seja gerado um índice contínuo de 1 a 5. Segundo a autora, os *inputs* deveriam ser mais expressivos da atividade dos departamentos. Deveriam ser incluídos indicadores com relação à infraestrutura, ao consumo de bens como energia elétrica, papel e outros, aos funcionários e aos recursos financeiros consumidos. No entanto, por falta de dados a autora se restringiu aos dois *inputs* já citados.

Os *outputs* definidos para o cálculo da eficiência via DEA foram sete, divididos em três categorias. O quadro abaixo mostra esses atributos.

CATEGORIAS	OUTPUTS
1. Ensino	1. Volume de trabalho em graduação (VolTrab)
	2. Número de equivalentes diplomados pelo departamento nos cursos de graduação (Graduados)
2. Pesquisa	3. Produção intelectual (ProdIntel)
	4. Número equivalente de dissertações e teses de mestrado e doutorado defendidas no período (PosGrad)
3. Extensão	5. Número de Consultorias e Acessorias Prestadas (ConsAss)
	6. Número de cursos extensão ministrados (CursExt)
	7. Projetos de pesquisa e extensão, convênios (ProConv)

Quadro 7- Outputs para avaliação de departamentos da UFSCar  
Fonte: Panepucci, 2003 (Adaptado).

VolTrab é a soma dos créditos de aula dados por todos os professores ponderados pelo número de alunos matriculados e frequentes na disciplina. Os dados obtidos para esse atributo variaram de 2.908 a 25.138.

Graduados representa o número de formados de graduação atribuídos a cada departamento. O cálculo é feito de forma que se somam todos os graduados de cada curso ponderados pela porcentagem de horas que aquele departamento leciona para o curso no total de horas do curso. Este indicador variou de 9,491 a 82,007 nos dados obtidos.

ProdIntel é a soma do número de trabalhos acadêmicos produzidos pelo departamento ponderada pelo peso respectivo do tipo de trabalho. Publicação de livros tem peso 20, publicações de artigos em periódicos ou em anais de congressos tem peso 10, produção de capítulos de livros recebe peso 10 e publicações de resumos em anais de congresso científico tem peso 5. Os dados para esse *output* variam entre 0 e 1.310.

PosGrad, da mesma forma que o cálculo de Graduados, é o cálculo do número de formados de pós-graduação atribuídos a cada departamento. O cálculo é feito de forma que se

somam todos os pós-graduados de cada curso de mestrado ou doutorado ponderando pela porcentagem de horas que aquele departamento leciona para o respectivo curso no total de horas do curso. Porém, neste caso, pondera-se também, por 1 no caso de dissertação de mestrado e 3 no caso de tese e doutorado. Este indicador variou de 0 a 95 nos dados obtidos.

ConsAss é o número absoluto de consultorias e assessorias prestadas pelo departamento. Este índice variou de 0 a 13.

CursExt é o número absoluto de cursos extensão ministrados pelo departamento. A variação nos dados para este indicador foi de 0 a 11.

ProConv é o número absoluto de projetos de pesquisa e extensão, convênios em que o departamento esteve envolvido, tendo variação de 0 a 38 nos dados.

A formulação de DEA escolhida por Panepucci foi a CCR orientado a *outputs*. Não fica claro, no entanto, se foi o CCR Seminal ou o CCR Básico. A autora afirma ter escolhido essa formulação por ser a mais usada nos trabalhos por ela revisados. Ela também testa a modelagem com o BCC orientado a *outputs* para conferir se as diferenças entre essas modelagens são relevantes.

A autora compilou o modelo CCR para todos os *inputs* e *outputs* para gerar um índice geral de eficiência. Depois, ela também compilou o modelo CCR outras três vezes, com todos os *inputs* e uma para cada categoria de *outputs*. Gerou-se, então, um indicador de eficiência para cada área de desempenho (Ensino, Pesquisa e Extensão). Para a comparação dos departamentos de diversas áreas a autora dividiu os departamentos em quatro áreas de atuação. Essa, segundo a autora, foi uma forma de reduzir o erro ao comparar unidades que possuem necessidades e condições de mercado diferentes.

Panepucci obteve resultados com o valor das eficiências e, também, valorizou as metas eficientes para cada departamento ineficiente. A autora afirma que, apesar da restrição de *inputs* e *outputs*, ainda houve dados ausentes e isso pode ter implicado num índice inferior de eficiência para aqueles departamentos específicos. Esses dados ausentes ferem a hipótese inicial da DEA em que todas as DMU's devem apresentar os mesmos *inputs* e *outputs* variando em intensidade. Além disso, a autora afirma ter tido dificuldade em definir pesos para alguns dos indicadores usados no modelo. O número de pós-graduados, por exemplo, foi ponderado com peso 1 para mestrado e 3 para doutorado. Entretanto, acredita-se que seria possível assumir como indicadores o número total de dissertações de mestrado e o número total de teses de doutorado para substituir esse indicador. Assim, a metodologia DEA seria usada com todo seu potencial ao invés de estar sujeita a um tratamento *à priori* nos dados.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o planejamento e a execução do experimento. É exibida a formatação do modelo DEA usado para o cálculo da eficiência relativa dos cursos de graduação em Engenharia de Produção do Brasil. São detalhadas as entradas e saídas escolhidas para o modelo, o problema de programação linear escolhido entre CCR e BCC, os cursos que compõe o modelo e os dados que alimentam o PPL. Além disso, versa sobre as facetas da compilação.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS – *INPUTS* E *OUTPUTS*

Dentre os indicadores já utilizados no mercado e as aplicações acadêmicas de DEA estudadas existem vários atributos que são considerados na avaliação de cursos de graduação. O Quadro 8 abaixo resume quais atributos são usados por cada entidade.

		INDICADORES			ESTUDOS	
		Guia	RUF	CPC	Dalmas	Panepucci
OUTPUTS	Nota do curso no ENADE ou ENC-98.		X	X	X	
	Percepção do mercado de trabalho.	X	X			
	Produção intelectual e científica.	X				X
	Número de formandos.				X	X
	Número de alunos em intercâmbio.	X				
	Número de projetos para comunidades desenvolvidos por discentes	X				
	Avaliação por professores do MEC.		X			
	Número de consultorias e assessorias prestadas pelos docentes.					X
INPUTS	Proporção de docentes ponderados pelo tempo de dedicação.	X	X	X	X	X
	Proporção de docentes ponderados pela titulação.	X	X	X		X
	Organização didático-pedagógica.	X		X		
	Infraestrutura e instalações físicas.	X		X		
	Oferta de pós-graduação.	X				
	Volume de trabalho em graduação.	X				X
	Classificação anterior.	X				
	Experiência prática dos docentes.	X				
	Atividades extracurriculares.	X		X		X
	Nota dos alunos no ENEM.			X		
	Número de ingressantes no curso.				X	

Quadro 8 – Mapeamento *inputs* e *outputs* para cursos de graduação

Fonte: Do Autor.

A classificação em *INPUTS* ou *OUTPUTS* concorda com a classificação usada por Dalmas (2000) e Panepucci (2003). Para os demais atributos, que não entraram nos modelos usados por esses dois autores, a classificação foi arbitrada de acordo com o que se espera como entrada e saída num processo de ensino-aprendizagem de educação superior. A Figura 6 abaixo ilustra as preposições assumidas.

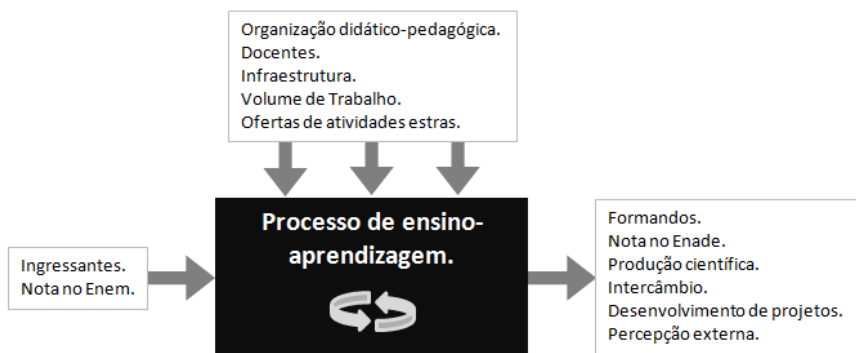


Figura 6 – Entradas e saídas no processo de ensino-aprendizagem.

Fonte: do autor.

É perceptível que não há um padrão sobre quais atributos considerar na classificação de cursos. As principais entradas (mais aplicadas) se referem à titulação e carga horária dos docentes enquanto a saída mais considerada foi o desempenho dos formandos mensurado por teste de conhecimento.

Conforme a proposta da metodologia DEA, todos os *inputs* e todos os *outputs* identificados deveriam ser considerados na programação linear para que o próprio modelo julgasse quais são mais ou menos importantes. Além disso, não deveria ser feito nenhum tratamento inicial dos dados com ponderação ou agregando *inputs* e *outputs*, de forma a permitir que o julgamento do modelo seja justo e objetivo.

Percebe-se no Quadro 8, também, que apesar da subjetividade do cálculo do indicador do Guia do Estudante, este é o indicador que abrange mais atributos.

Os dados obtidos foram classificados nas categorias do mapeamento apresentado no Quadro 8. Essas categorias, por já serem consideradas em avaliações de cursos por outras entidades, garantem sua importância no modelo. Então, o objetivo seria inserir no modelo o maior número de atributos possíveis sem tratamento inicial dos dados, um ou mais para cada atributo especificado no Quadro 8. As fontes consultadas foram:

- INEP (2016e): Microdados Censo Superior 2014;
- INEP (2016f): Microdados ENADE 2014;
- INEP (2016g): Microdados IDD 2014;

- INEP (2016h): Base de dados para cálculo do CPC 2014;
- Folha de S. Paulo (2016a): Base de dados para cálculo do RUF 2014.

A Editora Abril não fornece a base de dados usada para o cálculo da classificação de estrelas feita pelo Guia, portanto, não foram obtidos dados para compor as categorias que somente o Guia integra no cálculo. Além disso, os dados que foram considerados apenas nos estudos de Dalmas (2000) e Panepucci (2003) não estavam presentes nas bases de dados consultadas.

A seguir, o resumo dos dados tabulados por categoria de atributos.

		ID	NOME
OUTPUTS	Nota do curso no ENADE ou ENC-98.	O1	NT_ENADE
	Percepção do mercado de trabalho.	-	-
	Produção intelectual e científica.	-	-
	Número de formandos.	O2	QT_CONCLUINTE_CURSO
	Número de alunos em intercâmbio.	O3	QT_INTERNACIONAL
	Número de projetos para comunidades desenvolvidos por discentes	-	-
	Avaliação por professores do MEC.	-	-
	Número de consultorias e assessorias prestadas pelos docentes.	-	-
INPUTS	Proporção de docentes ponderados pelo tempo de dedicação.	I5	PROP_HORAS
	Proporção de docentes ponderados pela titulação.	I3	PROP_DOUTOR
		I4	PROP_MESTRE
	Organização didático-pedagógica.	I6	NT_ORG_DIDT_PEDAGOGICA
	Infraestrutura e instalações físicas.	I7	NT_INFRA
	Oferta de pós-graduação.	-	-
	Volume de trabalho em graduação.	I9	NU_CARGA_HORARIA
	Classificação anterior.	-	-
	Experiência prática dos docentes.	-	-
	Atividades extracurriculares.	I1	QT_EXTRA
	Nota dos alunos no ENEM.	I2	NT_ENEM
	Número de ingressantes no curso.	I8	QT_INGRESSO_CURSO

Quadro 9 – Dados tabulados para popular PPL.

Fonte: Do Autor.

Conforme observado no Quadro 9 acima, das 19 categorias, 11 foram possíveis de preencher com dados obtidos das fontes consultadas, sendo que a categoria “Proporção de docentes ponderados pela titulação” assumiu dois representantes. A categoria “Classificação anterior” foi excluída do modelo de forma a garantir que pudessem ser identificadas melhoras ou pioras bruscas na qualidade dos cursos. Além disso, não é esperada que a categoria “Classificação anterior” seja parte integrante do processo de ensino-aprendizagem. Para as



categorias “Percepção do mercado de trabalho” e “Avaliação por professore do MEC” encontradas na base de dados do RUF, as mesmas não foram consideradas pela baixa discriminação dos dados entre cursos e pela ausência de explicação sobre como se calcula esses atributos.

A seguir, a descrição de cada conjunto de dados incorporado ao modelo.

**NT\_ENADE:** Nota média no ENADE 2014 de todos os alunos concluintes do curso que fizeram pelo menos uma parte da prova. Na base estão disponibilizadas as notas finais (ponderadas) no ENADE de cada estudante concluinte, e foi calculada a média dessas notas por curso.

**QT\_CONCLUINTE\_CURSO:** Número de alunos concluintes em 2014. Na base este dado é disponibilizado sem necessidade de tratativa.

**QT\_INTERNACIONAL:** Proporção do número de alunos com *status* "cursando" que estiveram em intercâmbio internacional em 2014 dividido pelo número total de alunos com *status* "cursando" em 2014. Na base cada aluno recebe um indicador se está ou não em intercâmbio. Foi feita a contagem de quantos alunos estavam em intercâmbio e dividido pelo total de alunos. A proporção foi preferida ao total de alunos para excluir com maior facilidade as instituições que não tinham alunos com *status* “cursando”.

**PROP\_HORAS:** Proporção de professores que trabalham em dedicação integral e parcial em 2014 dividido pelo número total de professores em 2014. Dado esse já disponibilizado nesse formato. A informação do número total de professores em 2014 não estava presente.

**PROP\_DOUTOR:** Proporção de professores que são doutores em 2014 dividido pelo número total de professores em 2014. Dado, também já disponibilizado nesse formato, sendo a informação do número total de professores em 2014 ausente.

**PROP\_MESTRE:** Proporção de professores que são mestres em 2014 dividido pelo número total de professores em 2014. Na base de dados está presente a proporção de professores com titulação igual ou superior a mestre em 2014 dividido pelo total de professores de 2014. Desse valor foi excluído o PROP\_DOUTOR explicado acima, resultando em, somente, a proporção de mestres em 2014.

**NT\_ORG\_DIDT\_PEDAGOGICA:** Índice calculado pelo CPC (INEP) no componente NO - Nota referente à organização didático-pedagógica, já presente na base nesse formato.

**NT\_INFRA:** Índice calculado pelo CPC (INEP) no componente NF - Nota referente à infraestrutura e instalações físicas, também já presente na base nesse formato.

**NU\_CARGA\_HORARIA:** Carga horária mínima do curso em 2014, dessa mesma forma apresentada na base de dados.

**QT\_EXTRA:** Proporção do número de alunos com *status* "cursando" que estiveram fazendo atividades extracurriculares (estágio não obrigatório, extensão, monitoria e pesquisa) em 2014 dividido pelo número total de alunos com *status* "cursando" em 2014. Na base, cada aluno recebe um indicador se faz ou não alguma dessas atividades extracurriculares. Foi feita a contagem de quantos alunos participavam e dividido pelo total de alunos. A proporção foi preferida ao total de alunos para excluir com maior facilidade as instituições que não tinham alunos com *status* "cursando".

**NT\_ENEM:** Nota média no ENEM dos alunos que fizeram o ENADE em 2014. Para cada aluno, a nota final do ENEM foi calculada como sendo a média das notas obtidas em cada uma das quatro áreas de conhecimento (como apresentado na base), excluindo a nota de Redação que não estava presente na base de dados. Foi considerada a nota do ENEM do ano que o estudante concluinte ingressou no curso de graduação, considerando os alunos que estiveram presentes em pelo menos um dos dias de prova e assumindo nota 0 nos dias de ausência.

**QT\_INGRESSO\_CURSO:** Número de alunos matriculados em 2014. Na base este dado é disponibilizado da forma necessária ao modelo sem necessidade de tratativa.

Os conjuntos de dados, conforme descritos, atenderam ao máximo as categorias observadas e foram capturados da forma mais bruta possível, sem tratativas, para não tendenciar os resultados. Porém, somente essas categorias de dados não garantem que todos os dados importantes para a avaliação do setor estejam sendo considerados. Em acordo com as vantagens do modelo DEA, os conjuntos de dados não precisaram passar por conversão e permanecem com suas unidades originais, como número de alunos ou conceito em prova. Cumprindo as premissas da metodologia, todos os pontos de dados são ordinais e não-negativos. Para os *outputs*, quanto maior seus valores, melhor para o curso, pois indica que o curso consegue entregar mais. Ao mesmo tempo, para os *inputs*, quanto menor, melhor. Isso, porque se o curso consegue agregar muito com pouco, ele é mais eficiente que os demais. Por exemplo, se o curso tem pouca infraestrutura e professores com titulação baixa, porém seus alunos ainda conseguem intercâmbios internacionais e notas altas no ENADE significa que o curso, apesar de poucos recursos, agrega muito aos alunos; portanto, é eficiente.

### 3.2 ESCOLHA DO MODELO DEA

Dentre os modelos estudados – CCR Seminal, CCR Básico e BCC Básico – o mais adequado à aplicação para cálculo da eficiência relativa entre cursos de graduação em Engenharia de Produção no Brasil foi o BCC Básico. Este modelo escolhido contempla que todas as entradas e saídas sejam consideradas no modelo, ou seja, que nenhum dado tenha peso igual a 0. Isto é importante visto que cada dado corresponde a uma categoria já considerada em outros estudos e aplicações e, portanto, não faz sentido desconsiderá-los do modelo. Além disso, se um conjunto de dados assume peso 0 para uma DMU enquanto o mesmo conjunto de dados é importante para outra, a comparação deixa de ser com os mesmos *inputs* e *outputs* para todas. Ademais, o modelo BCC Básico assume uma fronteira variável à escala contraposto à fronteira proporcional à escala pressuposta pelo modelo CCR Básico. Conforme destacado por Dalmas (2000) em seu estudo dos cursos de Administração do Sul do Brasil, o setor da educação superior no Brasil apresenta retornos não-crescentes à escala, podendo ser decrescentes. O mesmo autor justifica que, para cursos de maior porte, parte dos *inputs* são consumidos em atividades de pós-graduação e extensão, confirmando os retornos variáveis decrescentes à escala. Ainda, para algumas classes de dados, como é o caso do “QT\_CONCLUINTE\_CURSO” e “PROP\_DOUTOR”, são esperadas mudanças incrementais de intensidade dos dados e não proporcionais, ou seja, um aumento modesto nas entradas não altera as saídas, enquanto um aumento significativo nas entradas traz uma elevação de patamar para as saídas.

Quanto à orientação, foi escolhida a Orientação a *Outputs*. Acredita-se que para os cursos de graduação que já alcançaram um nível de *inputs* qualquer, não seja interessante reduzir os recursos disponíveis e sim, trabalhar o processo produtivo de forma a expandir os resultados. Ainda, tanto Dalmas (2000) quanto Panepucci (2003) escolheram essa mesma orientação para aplicação na educação superior, compilando os modelos CCR e BCC Básicos.

O modelo BCC Básico orientado a *outputs* apresentado nas equações (27) e (29) prevê a arbitragem de uma constante não-arquimediana ( $\varepsilon$ ). O valor empírico escolhido foi  $\varepsilon = 0,001$  que, no modelo do Envelopamento representa 0,1% do peso do  $z_0$  na função objetivo e, no modelo dos Multiplicadores, garante que todos os dados tenham peso de, no mínimo, 0,001. O uso do mesmo valor para  $\varepsilon$  concorda com a proposição de Banker, Charnes e Cooper (1984) que afirmam que, para que o resultado do modelo do Envelopamento converse com o resultado do modelo dos Multiplicadores, a constante não-arquimediana deve ser a mesma.

Além disso, foi arbitrado o menor valor empírico encontrado que garantisse a resolução dos PPL's de acordo com Souza e Gomes (2013).

A seguir, o PPL formatado para o modelo BCC Básico orientado a *outputs* na forma primal e dual para a DMU<sub>1</sub>. A sintaxe apresentada, em formato resumido para entendimento, é a usada no software LINGO<sup>®</sup> (2015) que compilou os programas neste estudo.

Modelo do Envelopamento:

(34)

!OBJETIVO;

MAX = Z0 + (SI1 + SI2 + SI3 + SI4 + SI5 + SI6 + SI7 + SI8 + SI9 + SO1 + SO2 + SO3 ) \* 0.001;

!RESTRICAO OUTPUTS;

Y11\*L1 + Y12\*L2 + Y13\*L3 + (...) + Y182\*L82 + Y183\*L83 + Y184\*L84 = (Y11\*Z0) + SO1;

Y21\*L1 + Y22\*L2 + Y23\*L3 + (...) + Y282\*L82 + Y283\*L83 + Y284\*L84 = (Y21\*Z0) + SO2;

Y31\*L1 + Y32\*L2 + Y33\*L3 + (...) + Y382\*L82 + Y383\*L83 + Y384\*L84 = (Y31\*Z0) + SO3;

!RESTRICAO INPUTS;

X11\*L1 + X12\*L2 + X13\*L3 + (...) + X182\*L82 + X183\*L83 + X184\*L84 = X11 - SI1;

X21\*L1 + X22\*L2 + X23\*L3 + (...) + X282\*L82 + X283\*L83 + X284\*L84 = X21 - SI2;

X31\*L1 + X32\*L2 + X33\*L3 + (...) + X382\*L82 + X383\*L83 + X384\*L84 = X31 - SI3;

X41\*L1 + X42\*L2 + X43\*L3 + (...) + X482\*L82 + X483\*L83 + X484\*L84 = X41 - SI4;

X51\*L1 + X52\*L2 + X53\*L3 + (...) + X582\*L82 + X583\*L83 + X584\*L84 = X51 - SI5;

X61\*L1 + X62\*L2 + X63\*L3 + (...) + X682\*L82 + X683\*L83 + X684\*L84 = X61 - SI6;

X71\*L1 + X72\*L2 + X73\*L3 + (...) + X782\*L82 + X783\*L83 + X784\*L84 = X71 - SI7;

X81\*L1 + X82\*L2 + X83\*L3 + (...) + X882\*L82 + X883\*L83 + X884\*L84 = X81 - SI8;

X91\*L1 + X92\*L2 + X93\*L3 + (...) + X982\*L82 + X983\*L83 + X984\*L84 = X91 - SI9;

!RESTRICOES DO MODELO;

L1 + L2 + L3 + (...) + L82 + L83 + L84 = 1;

SI1, SI2, SI3, SI4, SI5, SI6, SI7, SI8 e SI9 >= 0;

SO1, SO2 e SO3 >= 0;

L1, L2, L3, (...), L82, L83, L84 >= 0;

Modelo dos Multiplicadores:

(35)

!OBJETIVO;

MAX = W0;

!OUTPUTS DMU\_0;

W0 = Y11\*U1 + Y21\*U2 + Y31\*U3 + M;

!INPUTS DMU\_0;

X11\*V1 + X21\*V2 + X31\*V3 + X41\*V4 + X51\*V5 + X61\*V6 + X71\*V7 + X81\*V8 + X91\*V9 = 1;

!DEMAIS DMUS;

Y11\*U1 + Y21\*U2 + Y31\*U3 - X11\*V1 - X21\*V2 - X31\*V3 - X41\*V4 - X51\*V5 - X61\*V6 - X71\*V7 - X81\*V8 - X91\*V9 + M <= 0;

Y12\*U1 + Y22\*U2 + Y32\*U3 - X12\*V1 - X22\*V2 - X32\*V3 - X42\*V4 - X52\*V5 - X62\*V6 - X72\*V7 - X82\*V8 - X92\*V9 + M <= 0;

$$Y13*U1 + Y23*U2 + Y33*U3 - X13*V1 - X23*V2 - X33*V3 - X43*V4 - X53*V5 - X63*V6 - X73*V7 - X83*V8 - X93*V9 + M \leq 0;$$

(...)

$$Y182*U1 + Y282*U2 + Y382*U3 - X182*V1 - X282*V2 - X382*V3 - X482*V4 - X582*V5 - X682*V6 - X782*V7 - X882*V8 - X982*V9 + M \leq 0;$$

$$Y183*U1 + Y283*U2 + Y383*U3 - X183*V1 - X283*V2 - X383*V3 - X483*V4 - X583*V5 - X683*V6 - X783*V7 - X883*V8 - X983*V9 + M \leq 0;$$

$$Y184*U1 + Y284*U2 + Y384*U3 - X184*V1 - X284*V2 - X384*V3 - X484*V4 - X584*V5 - X684*V6 - X784*V7 - X884*V8 - X984*V9 + M \leq 0;$$

$$!PESOS \geq E;$$

$$U1, U2 \text{ e } U3 \geq E;$$

$$V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 \text{ e } V9 \geq E;$$

$$E = 0.001;$$

### 3.3 ESCOLHA DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO PARA AVALIAÇÃO

De acordo com Sarkis (2006), quanto mais DMU's, maior o poder discriminatório do modelo. Além disso, o mesmo autor apresenta que a verdadeira fronteira de eficiência depende da quantidade de DMU's embutidas no modelo. Como a fronteira de eficiência é formada por arestas cujos vértices são DMU's eficientes, se uma DMU eficiente do universo de DMU's possíveis não for considerada no modelo, as arestas que compartilham do vértice que seria formado por essa DMU não estarão presentes na fronteira, causando redução no limite que deve ser alcançado para as outras DMU's serem eficientes. Partindo desse pressuposto, o ideal seria considerar no modelo todos os 643 cursos de graduação em Engenharia de Produção identificados pelo MEC em 2014 no Brasil, esteja este em atividade ou em extinção (INEP, 2016e).

Depois de selecionados os 643 cursos de Engenharia de Produção do Brasil, que seriam toda a população de cursos, foram excluídos os que não apresentavam algum dos dados de forma a garantir que todas as DMU's tivessem, apenas, dados presentes. Além disso, com o objetivo de comparar o resultado obtido pela metodologia DEA com a classificação das outras metodologias estudadas (CPC, RUF e Guia), só foram considerados os cursos que também estavam presentes na base de dados desses indicadores. A Figura 7 a seguir apresenta a redução das DMU's consideradas em etapas.

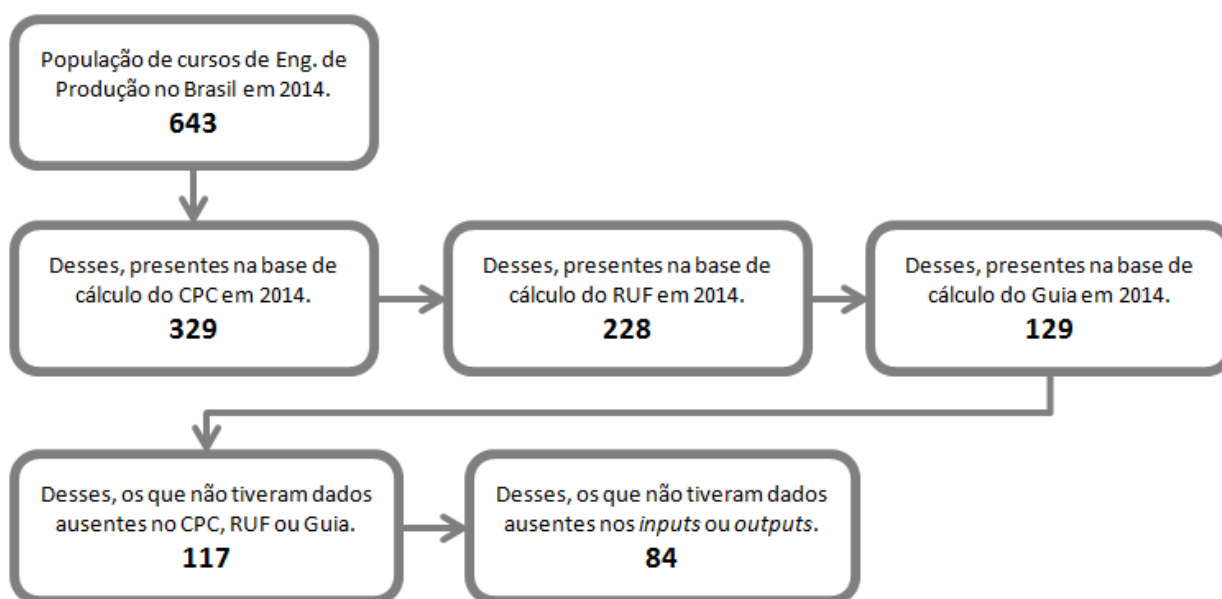


Figura 7 – Escolha de DMU's para popular o PPL.  
Fonte: Do Autor.

Como mostrado na Figura 7 acima, apenas 129 cursos estão presentes nas bases dos três indicadores existentes para avaliação de cursos de graduação, desses, alguns ainda não tinham conceito calculado, pois faltava reconhecimento do curso. Algumas instituições de ensino superior oferecem mais de um curso de graduação em Engenharia de Produção, e como alguns dos indicadores atuais não identificavam a qual curso estavam se referindo, os cursos de tal IES<sup>11</sup> acabaram sendo excluídos. Depois desse filtro, ainda houve casos de cursos que não tinham todos os dados presentes. O *input* NT\_ENEM foi o principal responsável pela exclusão de mais 33 cursos do universo de DMU's aptas, terminando, então, com 84 DMU's. Isso porque é considerada a nota do ENEM do aluno concluinte no ano em que o mesmo foi ingressante, porém muitos alunos ainda haviam entrado no curso por outros métodos como vestibular ou PISM<sup>12</sup> estando ausente a nota do ENEM.

Os cursos selecionados para serem submetidos ao cálculo de eficiência relativa via DEA foram identificados pela IES que os oferece, e seu município sede. Como todos os cursos são de graduação em Engenharia de Produção e tem sede no Brasil, pode-se assumir que todos estão nas mesmas condições de mercado, satisfazendo a limitação do DEA neste quesito. Além disso, 84 DMU's garantem o poder discriminatório do modelo baseado nas “regras de bolso” compiladas por Sarkis (2006). Das regras citadas pelo autor, a mais

<sup>11</sup> IES: Instituição de Ensino Superior.

<sup>12</sup> PISM: Programa de Ingresso Seletivo Misto. Processo seletivo para cursos de graduação onde o aluno é submetido a três provas, uma a cada fim de ano do Ensino Médio.

restritiva é de Dyson et al. (2001, apud SARKIS, 2006) que diz que o número de DMU's deve ser, no mínimo, o dobro do número de *inputs* vezes *outputs*.  $(9*3)*2 = 54 < 84$ . Logo, 84 DMU's satisfazem o mínimo requerido.

### 3.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A Tabela 3 a seguir traz os conjuntos de dados integrantes do modelo e suas estatísticas descritivas: mínimo, máximo, média, desvio padrão amostral e mediana. A base de dados completa se encontra no Anexo B deste documento. Os dados estão apresentados com poucas casas decimais, porém para o cálculo dos resultados todas as casas decimais disponíveis foram consideradas.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos dados originais.

ID	NOME	MÍN	MÁX	MÉDIA	DESV.PAD	MED
I1	QT_EXTRA	0	1.0000	0.1528	0.2538	0.0508
I2	NT_ENEM	460.70	753.22	565.46	54.36	557.02
I3	PROP_DOUTOR	0.0800	0.9630	0.3864	0.2175	0.3600
I4	PROP_MESTRE	0	0.8718	0.4444	0.1935	0.4565
I5	PROP_HORAS	0.1613	1.0000	0.7656	0.2401	0.8356
I6	NT_ORG_DIDT_PEDAGOGICA	4.2671	5.9900	5.0746	0.3565	5.0296
I7	NT_INFRA	3.2811	5.9615	4.9237	0.4901	4.9229
I8	QT_INGRESSO_CURSO	0	519	124	85	106
I9	NU_CARGA_HORARIA	3456	5460	3905	320	3900
O1	NT_ENADE	36.18	69.41	45.61	6.52	43.93
O2	QT_CONCLUINTE_CURSO	1	129	42	29	33
O3	QT_INTERNACIONAL	0	0.2077	0.0150	0.0416	0.0000

Fonte: Do Autor.

Como mostrado na Tabela 3 acima, os conjuntos de dados variam em intensidade entre si, alguns são da grandeza de decimais e outros de milhares. Ainda, as unidades variam entre proporção, conceito de prova, número de alunos, notas padronizadas (CPC) e número de horas. A vantagem do DEA de não precisar converter as diferentes classes de dados em uma única unidade é verificada aqui. Como os cursos de graduação não são lucrativos, não é viável converter todas as classes de dados para dinheiro, que é a unidade de conversão mais comum. Com isso, a não exigência dessa etapa de conversão é especialmente favorável nesse setor.

Sarkis (2006) alerta para possíveis problemas de compilação oriundos de conjuntos de dados que variam muito em ordem de grandeza e pontos de dados iguais a 0. Quanto aos valores iguais a 0, a base de dados contém tais valores presentes em QT\_EXTRA, PROP\_MESTRE, QT\_INGRESSO\_CURSO e QT\_INTERNACIONAL, porém os mesmos

foram mantidos por retratarem a realidade. Além disso, Panepucci (2003) em seu estudo dos departamentos acadêmicos também utiliza do DEA com dados iguais a 0. Já para o problema da diferença na ordem de grandeza dos dados, o Modelo BCC Básico do Envelopamento orientado a *outputs* foi compilado para a DMU<sub>1</sub> com os dados originais e normalizados<sup>13</sup>. O resultado das variáveis segue abaixo.

Tabela 4 – Resultado DMU<sub>1</sub> modelo do Envelopamento BCC Básico com dados originais e normalizados.

VAR	ORIGINAL	NORMAL
Z0	1.0988	1.1095
SI1	0.0052	0.0409
SI3	0.1238	0.2992
SI5	0.4842	0.6286
SI6	0.0000	0.0126
SI7	0.0329	0.0198
SI8	110.1785	0.7625
SO2	6.8896	0.0977
SO3	0.0023	0.0000
L38	0.7359	0.6848
L40	0.1543	0.1088
L50	0.0023	0.0000
L75	0.0111	0.0000
L82	0.0963	0.2064

Fonte: Do Autor.

A Tabela 4 mostra apenas as variáveis que mudaram de valor do modelo original para o modelo normalizado. A eficiência da DMU<sub>1</sub> que era 82,2% com o modelo original passou para 90,0% com o modelo normalizado. A variação da eficiência foi de, apenas, 9,5%, não sendo uma variação significativa. Além disso, as DMU's *benchmarks* permaneceram, sendo a maior abrangência no modelo original.

Contudo, para o modelo dos Multiplicadores, mantendo a constante não-arquimediana  $\varepsilon = 0,001$ , o PPL populado com os dados originais retorna “Solução Inviável”, enquanto o populado com os dados normalizados é factível. Por isso, os dados normalizados são necessários para o modelo dos Multiplicadores. A seguir, Tabela 5 com as estatísticas descritivas dos conjuntos de dados normalizados.

<sup>13</sup> O método usado para normalização dos dados neste estudo é o sugerido por Sarkis (2006) e explicado no Anexo C deste documento.



Tabela 5 - Estatísticas descritivas dos dados normalizados.

ID	NOME	MÍN	MÁX	MÉDIA	DESV.PAD	MED
I1	QT_EXTRA	0	6.5455	1.0000	1.6714	0.2656
I2	NT_ENEM	0.8147	1.3321	1.0000	0.0967	0.9841
I3	PROP_DOUTOR	0.2070	2.4920	1.0000	0.5663	0.9303
I4	PROP_MESTRE	0	1.9615	1.0000	0.4380	1.0386
I5	PROP_HORAS	0.2107	1.3062	1.0000	0.3156	1.0944
I6	NT_ORG_DIDT_PEDAGOGICA	0.8409	1.1804	1.0000	0.0707	0.9905
I7	NT_INFRA	0.6664	1.2108	1.0000	0.1001	0.9990
I8	QT_INGRESSO_CURSO	0	4.1835	1.0000	0.6910	0.8464
I9	NU_CARGA_HORARIA	0.8850	1.3982	1.0000	0.0824	0.9948
O1	NT_ENADE	0.7932	1.5216	1.0000	0.1438	0.9627
O2	QT_CONCLUINTE_CURSO	0.0237	3.0567	1.0000	0.7007	0.7819
O3	QT_INTERNACIONAL	0	13.8147	1.0000	2.7845	0.0000

Fonte: Do Autor.

Nota-se que os dados normalizados garantem a predominância de ordens de grandezas semelhantes. Além disso, a média será sempre 1 para todos os conjuntos de dados.

### 3.5 COMPILAÇÃO DO MODELO

Conforme já informado anteriormente, o software usado para compilar os modelos DEA deste estudo foi o LINGO<sup>®</sup> (2015) versão de teste. Os resultados obtidos com o modelo do Envelopamento foram um pouco diferentes dos obtidos pelo modelo dos Multiplicadores mesmo usando apenas os dados normalizados nos dois casos. A seguir, a Tabela 6 resume com o resultado de eficiência da DMU<sub>1</sub>, DMU<sub>2</sub> e DMU<sub>3</sub> pelo modelo do Envelopamento com os dados originais, do Envelopamento com os dados normalizados e com o modelo dos Multiplicadores com os dados normalizados. Os modelos completos usados no LINGO<sup>®</sup> para compilar os resultados da DMU<sub>1</sub> estão no Anexo D desse texto, lembrando que a mesma formatação foi repetida para cada uma das 84 DMU's elegíveis.

Tabela 6 – Comparativo de eficiência para diferentes modelagens DEA.

DMU	ENV_ORG	ENV_NRM	MUL_NRM
1	82.20%	89.98%	90.13%
2	64.74%	85.75%	85.89%
3	100.00%	100.00%	100.00%

Fonte: Do Autor.

A Tabela 6 mostra que a eficiência das DMU's cresce da esquerda para a direita, do modelo ENV\_ORG para o MUL\_NRM. Logo, todas as DMU's eficientes no modelo

ENV\_ORG permanecem eficientes nos demais modelos. Já as DMU's ineficientes no modelo ENV\_ORG aumentam seu valor de eficiência nos demais modelos, podendo chegar a fazer parte da fronteira de eficiência. Por essa análise, é possível identificar que o modelo do Envelopamento populado com dados originais é mais conservador pois permite que um menor número de DMU's sejam eficientes e, daquelas ineficientes, diferencia melhor a ineficiência com valores mais baixos. Portanto, pode-se dizer que este primeiro modelo tem o maior poder discriminatório entre os três apresentados. Por fim, o modelo do Envelopamento com dados originais foi o escolhido para cálculo da eficiência relativa nesse estudo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DA MODELAGEM DEA

Ao compilar um PPL DEA qualquer, é esperado que várias DMU's sejam eficientes, ou seja, sejam vértices da fronteira de eficiência e, portanto, tenham eficiência igual a 100%. Como o DEA ajusta os pesos de acordo com a intensidade de *inputs* e *outputs* de cada DMU, valorizando aquilo que a mesma tem de melhor, não é adequado, entre todas as DMU's eficientes, dizer que uma é melhor que outra. No entanto, para as DMU's ineficientes, seu valor de eficiência indica quão próxima da fronteira de eficiência ela está, portanto, informando se ela está mais próxima da fronteira que outra DMU e, por consequência, seja melhor que essa outra. Com base nesse raciocínio, os valores de eficiência de cada DMU podem indicar faixas de desempenho, sendo que cada faixa engloba um conjunto de DMU's que estão no mesmo patamar de eficiência.

Para a aplicação na avaliação de cursos de Engenharia de Produção no Brasil, as faixas de desempenho/eficiência foram adotadas como mostra a Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Valor de eficiência convertido em faixas de desempenho

%EFIC.	FAIXA
=100%	5
[80% - 100%)	4
[60% - 80%)	3
[40% - 60%)	2
<=40%	1

Fonte: Do Autor.

Essa classificação em faixas de desempenho também é adotada pelos indicadores CPC e Guia com os mesmos limites [1, 5]. Conforme apontado na Tabela 7 acima, todos os cursos que fazem parte da fronteira de eficiência alcançam a maior faixa. Aqueles que estão longe da fronteira de eficiência alcançando, no máximo, 40% de eficiência são incluso na faixa mais baixa. E, os demais cursos ineficientes são classificados por intervalos de ineficiência.

O Quadro 10 a seguir traz os resultados de eficiência de cada DMU e sua faixa de desempenho. Essa eficiência foi calculada pelo modelo do Envelopamento alimentado com os dados originais.

DMU	% EFIC.	FAIXA	DMU	% EFIC.	FAIXA	DMU	% EFIC.	FAIXA
3	100%	5	50	100%	5	14	87%	4
4	100%	5	51	100%	5	64	85%	4
6	100%	5	52	100%	5	61	85%	4
7	100%	5	53	100%	5	25	85%	4
8	100%	5	57	100%	5	10	83%	4
11	100%	5	58	100%	5	1	82%	4
15	100%	5	62	100%	5	9	80%	4
18	100%	5	63	100%	5	37	79%	3
22	100%	5	65	100%	5	59	78%	3
23	100%	5	69	100%	5	54	73%	3
27	100%	5	70	100%	5	35	73%	3
28	100%	5	71	100%	5	34	72%	3
29	100%	5	72	100%	5	67	72%	3
30	100%	5	73	100%	5	77	72%	3
31	100%	5	74	100%	5	68	72%	3
32	100%	5	75	100%	5	5	72%	3
36	100%	5	76	100%	5	17	70%	3
38	100%	5	79	100%	5	33	69%	3
39	100%	5	81	100%	5	80	65%	3
40	100%	5	82	100%	5	13	65%	3
41	100%	5	83	100%	5	2	65%	3
42	100%	5	26	95%	4	78	63%	3
43	100%	5	46	95%	4	12	62%	3
44	100%	5	16	94%	4	84	61%	3
45	100%	5	20	94%	4	24	54%	2
47	100%	5	66	94%	4	60	53%	2
48	100%	5	21	90%	4	55	52%	2
49	100%	5	56	88%	4	19	34%	1

Quadro 10 – Eficiência pelo modelo do Envolvimento BCC Básico com dados originais.

Fonte: do autor.

Das 84 DMU's observadas, 49 são eficientes (faixa 5), 14 estão na faixa 4, 17 na faixa 3, 3 DMU's na faixa 2 e, apenas 1 DMU está na faixa 1 com 34% de eficiência. Isso indica que, aproximadamente, 42% dos cursos de graduação em Engenharia de Produção podem melhorar seus resultados quando comparados a outros cursos brasileiros da mesma graduação. Como mostrado na Figura 7, muitas DMU's não puderam ser consideradas no modelo por falta de dados. É mais provável que essa falta seja em cursos de graduação de menor desempenho, e portanto, se fossem incluídos no modelo estariam nas faixas de menor desempenho calculadas via DEA. Com a inclusão desses cursos, acredita-se que a proporção de DMU's eficientes cairia, ocasionando um resultado mais realista. O Quadro 11 a seguir traz as DMU's que são *benchmarks* para aquelas ineficientes.

DMU	BENCHMARKS	DMU	BENCHMARKS
26	8 - 18 - 40 - 51 - 53	34	7 - 30 - 43 - 51
46	18 - 28 - 38 - 40 - 51 - 62 - 73	67	27 - 40 - 50 - 75
16	27 - 38 - 40 - 50 - 75	77	40 - 51 - 75
20	3 - 7 - 8 - 43 - 79	68	28 - 40 - 62 - 79 - 81 - 82
66	27 - 40 - 51 - 75	5	27 - 38 - 40 - 51 - 75
21	7 - 30 - 43 - 51	17	8 - 18 - 51 - 53 - 75
56	38 - 40 - 51 - 75 - 82	33	30 - 31 - 32 - 43 - 51 - 82
14	18 - 22 - 38 - 40 - 50 - 75 - 82	80	18 - 38 - 57 - 75
64	23 - 30 - 40 - 50 - 51 - 82	13	27 - 38 - 40 - 75
61	22 - 40 - 50 - 75	2	30 - 32 - 51 - 79 - 82
25	40 - 50 - 51	78	8 - 18 - 22 - 36 - 62 - 75
10	8 - 22 - 36 - 40 - 75 - 82	12	18 - 30 - 51 - 73 - 76 - 82
1	38 - 40 - 50 - 75 - 82	84	27 - 38 - 40 - 50
9	38 - 40 - 76	24	30 - 51 - 75
37	40 - 50 - 82	60	40 - 50 - 82
59	38 - 40 - 50 - 75 - 82	55	18 - 36 - 51 - 75 - 81 - 82
54	8 - 40 - 73 - 75 - 81 - 82	19	18 - 27 - 75
35	7 - 30 - 40 - 44 - 79		

Quadro 11 – *Benchmarks* para DMU's ineficientes.

Fonte: Do Autor.

Apesar de considerarmos 84 DMU's no modelo, cada DMU ineficiente pode buscar melhorar suas práticas a partir da observação de um conjunto de poucas DMU's *benchmarks*. Como observado no Quadro 11 acima, o conjunto de DMU's *benchmarks* varia entre 3 e 7 DMU's eficientes. Nenhuma DMU ineficiente é *benchmark* conforme esperado pela modelagem. A DMU<sub>19</sub>, por exemplo, que é a DMU mais ineficiente dentre as 84 estudadas, pode buscar boas práticas através de visita técnica na DMU<sub>18</sub>, na DMU<sub>27</sub> ou na DMU<sub>75</sub>. Se a DMU<sub>19</sub> alcançar o objetivo de remodelar seu processo de forma a se assemelhar a qualquer uma dessas DMU's *benchmarks*, seu *score* de eficiência chegará ao patamar de 100%.

O Algoritmo de Clusterização por Ordem de Ranqueamento (ROC<sup>14</sup>), explicado em detalhes por Neumann e Scalice (2015), foi aplicado neste estudo para verificar se existe padrão de agrupamento entre DMU's ineficientes (primeira coluna) e DMU's *benchmarks* (primeira linha). O resultado é apresentado no Quadro 12 a seguir.

<sup>14</sup> ROC vem do nome em inglês *Rank Order Clustering* (NEUMANN e SCALICE, 2015).

DMU	7	79	43	8	3	30	40	44	51	82	32	81	62	28	31	18	53	75	73	22	36	50	23	76	38	27	57
20	1	1	1	1	1																						
35	1	1				1	1	1																			
21	1		1			1			1																		
34	1		1			1			1																		
2		1				1			1	1	1																
68		1				1	1		1			1	1	1													
33			1			1			1	1	1				1												
26				1			1		1							1	1										
54				1			1		1			1						1	1								
10				1			1		1									1		1	1						
17				1					1								1	1	1								
78				1													1	1	1		1	1					
64						1	1		1	1													1	1			
12						1			1	1							1			1					1		
24						1			1									1									
56							1		1	1								1								1	
46							1		1					1	1			1								1	
5							1		1									1								1	1
66							1		1									1									1
77							1		1									1									
25							1		1														1				
14							1			1						1		1		1					1		
1							1			1								1							1		
59							1			1								1							1		
37							1			1													1				
60							1			1													1				
61							1											1		1							
16							1											1							1	1	
67							1											1								1	
13							1											1							1	1	
84							1																1		1	1	
9							1																	1	1		
55									1	1							1	1			1						
80																	1	1							1		1
19																	1	1								1	

Quadro 12 – Clusterização entre DMU's ineficientes e *benchmarks*.

Fonte: Do Autor.

Verifica-se que não existe um padrão de agrupamento no Quadro 12 acima. O espalhamento pode indicar que as DMU's estão nas mesmas condições de mercado. Se não, existiria um grupo de DMU's com características semelhantes atendidas pelos mesmos *benchmarks*. Nota-se, também, que a DMU<sub>40</sub>, a DMU<sub>51</sub> e a DMU<sub>75</sub> são *benchmarks* para várias outras DMU's indicando que várias das DMU's ineficientes se assemelham a essas na forma de processar *inputs* em *outputs*.

Além de indicar os cursos referências para a busca da melhoria nos processos para as DMU's ineficientes, o DEA também fornece os alvos de intensidade de entradas e saídas para que a DMU possa se tornar eficiente. Tomando como referência a DMU mais ineficiente, a Tabela 8 a seguir traz os alvos ótimos para que a DMU<sub>19</sub> se torne eficiente.

Tabela 8 – Alvos de eficiência para DMU<sub>19</sub>.

CATEGORIA	VAR	ATUAL	ALVO
NT_ENADE	Y119	51.80	50.54
QT_CONCLUINTE_CURSO	Y219	12	56
QT_INTERNACIONAL	Y319	0	0.0146
QT_EXTRA	X119	0.0927	0.0273
NT_ENEM	X219	583.58	569.80
PROP_DOUTOR	X319	0.4000	0.3487
PROP_MESTRE	X419	0.5273	0.4604
PROP_HORAS	X519	0.3636	0.3636
NT_ORG_DIDT_PEDAGOGICA	X619	5.4136	5.4136
NT_INFRA	X719	5.4514	5.2544
QT_INGRESSO_CURSO	X819	149	106
NU_CARGA_HORARIA	X919	5460	3617

Fonte: Do Autor.

Por ser um modelo orientado a *outputs*, é esperado que os alvos refletissem apenas em mudanças para aumento nos *outputs*. Porém, devido às folgas relativas aos *inputs* na modelagem DEA não terem sido nulas, os valores alvos de *inputs* também são diferentes dos atuais para algumas categorias de dados. No caso da DMU ilustrada, a mesma deve aumentar seu número de concluintes para 56 e reduzir o número de ingressantes para 106. Esses valores podem representar uma alta taxa de desistência durante o curso que caracteriza desperdício de recursos e não colabora para a qualidade do curso. Porém, só essas mudanças não garantem eficiência. Por exemplo, compilando o modelo novamente com QT\_CONCLUINTE\_CURSO = 56 e QT\_INGRESSO\_CURSO = 106 a eficiência da DMU<sub>19</sub> sobe para 35%, apenas 1% a mais que anteriormente.

Além das alterações destacadas acima, a DMU<sub>19</sub> deve trabalhar para promover o intercâmbio internacional de seus alunos o que, atualmente, não acontece. A nota do curso no ENADE está bem próxima ao alvo, podendo até ser reduzida. Essa redução na nota do ENADE é justificada pela redução nas outras sete entradas. Ou seja, com a redução das entradas para o alvo, a nota do ENADE pode até reduzir um pouco que ainda garante a inclusão da DMU<sub>19</sub> na fronteira de eficiência. As reduções mais significativas são a proporção de alunos fazendo atividades extracurriculares cujo alvo cai 70% e a carga horária curricular que objetiva reduzir 34%. Conforme premissado no modelo DEA, os valores alvos da Tabela 8 acima representam os valores mínimos de saída e máximos de entrada que a DMU<sub>19</sub> deve assumir para garantir sua eficiência.

Além das saídas apresentadas obtidas pelo modelo do Envelopamento, o DEA permite identificar outras características através do modelo dos Multiplicadores. Este modelo indica se

o retorno à escala em torno da DMU analisada é variável crescente ( $M > 0$ ), decrescente ( $M < 0$ ) ou constante ( $M = 0$ ), e qual a importância relativa de cada categoria de dado. Entretanto, o modelo dos Multiplicadores não será discutido neste estudo dado que o mesmo não tem solução viável com os dados originais. E, como já mostrado na Tabela 6, o modelo com os dados normalizados diferencia do modelo com os dados originais vetando a comparação entre seus resultados.

## 4.2 COMPARAÇÃO COM INDICADORES CONSOLIDADOS

Tanto a avaliação do Guia quanto a avaliação do CPC classificam os cursos de graduação em faixas de desempenho [1, 5], sendo que um mesmo curso de Engenharia de Produção recebe uma nota em um indicador e outra em outro. Dos 84 cursos analisados, somente 33 recebem a mesma nota nos dois indicadores (39%). O gráfico abaixo mostra a comparação entre esses dois indicadores.

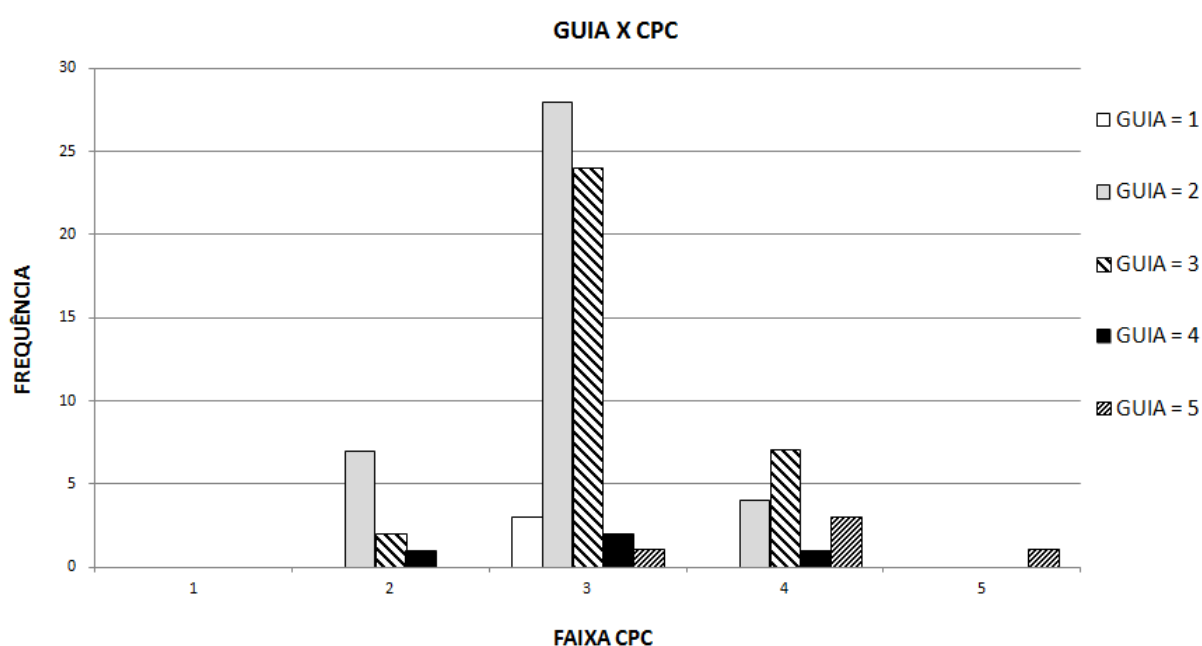


Figura 8 – Comparação de resultados Guia x CPC.

Fonte: Do Autor.

O único curso de alta qualidade no CPC (faixa 5), também recebe o mesmo *score* no Guia. Os demais cursos que são faixa 5 no Guia permeiam as faixas 4 e 3 do CPC. As faixas 2, 3 e 4 do Guia se espalham entre as faixas 2, 3 e 4 do CPC e as DMU's com faixa 1 do Guia aparece com conceito 3 no CPC. Essa variação entre os conceitos desses dois



indicadores mostra que o fato de considerar no modelo de cálculo categorias de dados diferentes e empregar metodologias distintas implica em resultados divergentes.

A mesma disparidade de conceitos é observada quando se compara a faixa de desempenho atribuída pelo DEA. Ao comparar os conceitos do Guia com os do DEA, 13 são idênticos (16%), ao comparar DEA com CPC, 19 são idênticos (23%) e, olhando os três, 8 são idênticos (10%). Os gráficos abaixo trazem a comparação entre os resultados obtidos com o DEA e o CPC e, com o DEA e o Guia, respectivamente.

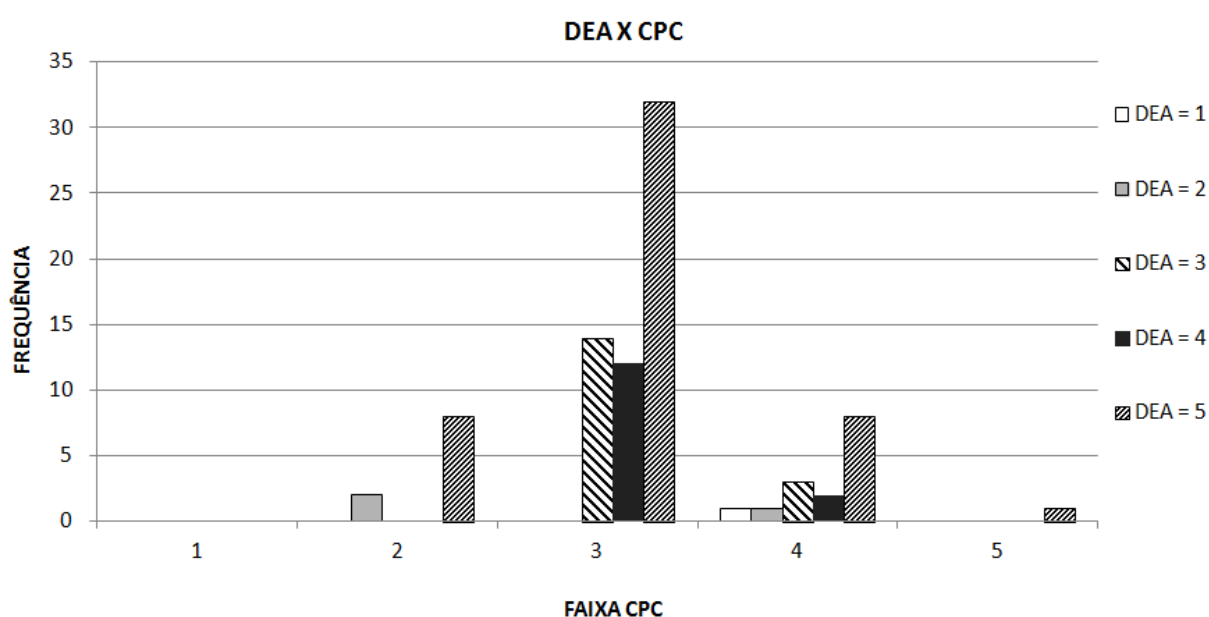


Figura 9 - Comparação de resultados DEA x CPC.  
Fonte: Do Autor.

Aqui, também, o único curso com conceito 5 no CPC recebe o mesmo conceito no DEA. Porém, o DEA atribui conceito 5 para mais DMU's que o CPC (49 a 1), essas demais DMU's, no CPC, recebem desde o conceito 2 ao 4. Uma semelhança entre os dois modelos é na atribuição dos conceitos 3 e 4 pelo DEA que coincidem com os conceitos 3 e 4 do CPC. Essa variação na vizinhança pode indicar que essas DMU's estão próximas da fronteira entre 3 e 4 e, portanto, alternam entre esses dois conceitos para indicadores diferentes. A faixa 2 atribuída pelo DEA coincide com a faixa 2 atribuída pelo CPC em alguns casos. Por fim, a única DMU na faixa 1 do DEA se encontra na faixa 4 do CPC.

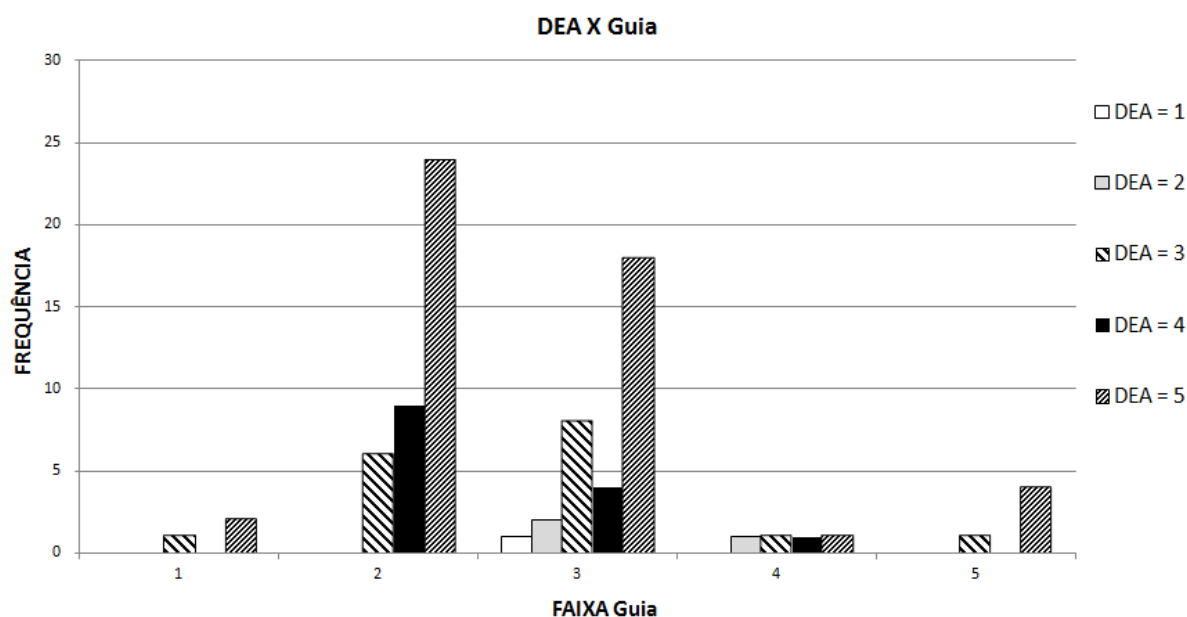


Figura 10 - Comparação de resultados DEA x Guia.  
Fonte: Do Autor.

Já na comparação entre o DEA e o Guia, a disparidade é maior. Apesar de a classificação DEA equiparar com a classificação do Guia em alguns casos nas faixas 3, 4 e 5, a classificação DEA, em sua maioria permeia todas as faixas do Guia, não apresentando muita semelhança.

A classificação do RUF, entretanto, não é apresentada em faixas de desempenho, mas em ordem de *ranking*. O gráfico abaixo traz a faixa atribuída pelo DEA para cada posição atribuída pelo RUF.

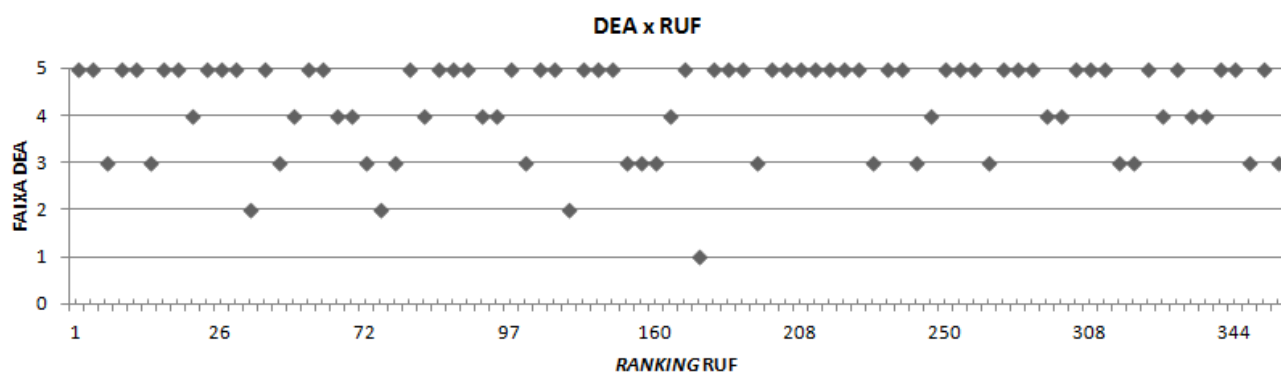


Figura 11- Comparação de resultados DEA x RUF.  
Fonte: Do Autor.

Na Figura 11 era esperado um formato de escada decrescente da esquerda para a direita, porém não é verificado indicando que o DEA e o RUF não apresentam muita semelhança. A faixa 5 do DEA aparece para várias DMU's, desde as primeiras às últimas

posições do *ranking* RUF. O mesmo fato ocorre para as faixas 3 e 4 do DEA. A faixa 2 do DEA se concentra entre a 30ª DMU e a 150ª DMU, o que, também, não é esperado dado que o *ranking* vai até a 363ª DMU. Todavia, a DMU que recebeu a classificação 1 no DEA está atrás (no *ranking* RUF) das DMU's que receberam faixa 2 no DEA, conforme esperado.

A tabela completa com todas as classificações atribuídas às DMU's pelos indicadores DEA, CPC, RUF e Guia está no Anexo E deste estudo.

Por fim, com essas análises comparativas feitas, é possível concluir que a classificação DEA se assemelha melhor à classificação CPC. Ao retornar no Quadro 9 que mostra as categorias de dados usadas na metodologia DEA e comparar com o Quadro 8 que mostra as categorias empregadas nos demais indicadores, a observação é que todas as categorias de dados do CPC são, também, empregadas no DEA. O mesmo não acontece para o Guia e o RUF que assumem dados não incluídos na metodologia DEA. Esta circunstância pode explicar porque o DEA se assemelha mais ao CPC que a outros indicadores. Já as diferenças são elucidadas pelo diferente método de cálculo e pela inclusão de mais alguns conjuntos de dados não empregados pelo CPC.

Outra característica notável do DEA é que o mesmo resulta em muito mais DMU's classificadas com alta qualidade que os demais indicadores. Este episódio era esperado já que o DEA valoriza o que cada DMU tem de melhor, considerando as diferenças no processo de ensino-aprendizagem que cada uma adere. Em todos os outros métodos, as DMU's são comparadas por um conjunto de pesos arbitrados *à priori* que impõe às mesmas trabalharem da mesma forma para atingirem alta qualidade. O DEA, então, respeita o processo de cada DMU e indica que, apesar de aplicarem métodos diferentes, se os diferentes cursos agregam o mesmo valor aos estudantes, os mesmos são, portanto, classificados como eficientes.

### 4.3 LIMITAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo foram empregados dados reais de 84 cursos de graduação em Engenharia de Produção no Brasil. Esse número representa em torno de 13% dos cursos da mesma graduação no país. Isso indica que muitos cursos não puderam ser considerados e, portanto, não se pode garantir que a fronteira de eficiência encontrada é a fronteira real para este setor da educação conforme alertado por Sarkis (2006). A inclusão de um novo curso no modelo pode alterar a fronteira de eficiência, se este for eficiente e, por conseguinte, alterar os resultados de todos os outros cursos de graduação. Da mesma forma, a inclusão de cursos ineficientes mudariam as proporções de cursos nas faixas de menor desempenho. Isto ocorre porque o DEA calcula eficiência relativa.

Ademais, esses dados reais no modelo DEA não tiveram o comportamento esperado pela teoria. A Tabela 6 mostra que os resultados obtidos pelo modelo do Envelopamento alimentado pelos dados originais e pelos dados normalizados foram diferentes. Ainda, esses resultados divergiram daqueles obtidos pelo modelo dos Multiplicadores. Essas divergências podem ser explicadas pela qualidade dos dados considerados. O fato de existirem dados iguais a 0, conforme indicam Sarkis (2006) e Panepucci (2003) pode ter influenciado. Além disso, o conjunto de dados QT\_INGRESSANTE\_CURSO não satisfaz completamente a premissa de que para os *inputs*, quanto menor, melhor. Uma redução significativa nesses dados não sustenta um aumento no conjunto de dados QT\_CONCLUINTE\_CURSO no longo prazo, principalmente se  $QT\_INGRESSANTE\_CURSO \ll QT\_CONCLUINTE\_CURSO$ .

Os dados reais originais, também, não tiveram solução para o modelo dos Multiplicadores com  $\varepsilon = 0,001$ . E, por isso, não foi possível explorar as saídas desse modelo, os pesos mais favoráveis atribuídos a cada conjunto de dados numa mesma DMU ( $u_r, v_i$ ) e o comportamento da fronteira de eficiência em torno da DMU (M). Para que a solução pelo modelo dos Multiplicadores seja viável é preciso garantir a qualidade dos dados e determinar de forma mais assertiva a constante não-arquimediana  $\varepsilon$ .

Ainda, foi assumido que todos os cursos observados usufruem das mesmas condições de mercado. Entretanto, os dois estudos abordados nesse texto, Dalmas (2000) e Panepucci (2003) abrangem, respectivamente, uma região do Brasil e uma universidade. Como a abrangência deste estudo é em nível de Brasil, essa premissa fica mais difícil de ser garantida. Os cursos estudados estão espalhados por 18 estados representando as 5 regiões do país.

## 5. CONCLUSÃO

Neste capítulo são discutidos os resultados deste estudo e, em sequência, sugeridas novas abordagens com base no que foi vivenciado durante a realização do mesmo.

### 5.1 DISCUSSÃO

A metodologia DEA no experimento se mostrou viável e vantajosa para aplicação na avaliação de cursos de graduação no Brasil. O modelo conceitua os cursos de graduação em faixas de desempenho de 1 a 5 como acontece com indicadores já consolidados. O método também avalia os cursos de forma comparativa e, como foi sugerido no experimento, pode ser aplicado para cada área de avaliação, como definido pelo INEP (2015a), separadamente. Essa posição garante a comparação de cursos que estão nas mesmas condições de mercado e que, de certa forma, buscam os mesmos objetivos.

O modelo pode assumir muitas classes de dados sem trabalho adicional para tabulação, conversão ou normalização dos mesmos. Por exemplo, se fossem comparados os 643 cursos de graduação em Engenharia de Produção, todas as entradas e saídas mapeadas no Quadro 8 poderiam ser considerados sem prejudicar a resolução do modelo, como garantem as restrições compiladas por Sarkis (2006). O ponto de atenção nesse aspecto é que não pode existir dado ausente. Então, para que a avaliação possa abranger todos os cursos, os dados precisam ser coletados para todos, o que implica que, quanto mais classes de dados o modelo incorporar, mais trabalho exigirá na coleta de dados. Entretanto, o esforço exigido na coleta de dados é compensado quando o modelo não exige que os mesmos sejam trabalhados.

Na análise dos resultados obtidos com o DEA, esta modelagem mais se assemelhou à do CPC, o que pode ser explicado pela semelhança das categorias de dados incorporadas. Porém o DEA traz uma abordagem diferente em que valoriza o que cada curso tem de melhor, classificando um número maior de cursos como eficientes. Este formato pode ser mais interessante para a avaliação dado que nem todos os cursos focam nos mesmos objetivos específicos e nem desfrutam da mesma proporção de recursos. O INEP, no cálculo do CPC já engloba parte dessa diferenciação quando pondera o componente NIDD que é composto pelo IDD (INEP, 2015a). A função do IDD é indicar o quanto o curso agrega ao estudante dadas as condições do mesmo no momento do ingresso no curso. O mesmo conceito é aplicado pela metodologia DEA em todos seus aspectos. O DEA mostra o quanto o curso agrega ao

estudante dado as condições de entrada do processo de ensino-aprendizagem e os resultados obtidos, isso comparando não a um nível ideal, mas ao que praticam os concorrentes no mercado. Os que agregam mais são classificados como eficientes e os que agregam menos são ineficientes e podem melhorar.

A principal vantagem oferecida pelo DEA é que, além da nota de qualidade, é oferecido ao curso informações que o possibilitam melhorar de patamar. Assim sendo, a classificação de cursos que é enxergada, atualmente, com o objetivo de auxiliar os estudantes ingressantes na sua escolha (INEP, 2016a), também pode incorporar a função de oferecer para os cursos formas de melhorar sua qualidade. Ambos os aspectos têm maior potencial de efetivamente melhorar a qualidade do ensino superior no país. Cursos que, por exemplo, eram assumidos como *outliers* no CPC, no DEA são sugeridos como *benchmarks* para que cursos inferiores tenham uma referência de qualidade.

No experimento apresentado neste texto foram escolhidas entradas e saídas compostas, apenas, por dados estatísticos. No entanto, tanto o RUF quanto o Guia incorporam componentes subjetivos nos seus cálculos, que dependem da opinião de terceiros. Para o DEA não é impedimento a incorporação de tais componentes se estes estiverem em uma escala numérica positiva, o que já acontece. Portanto, esta metodologia pode ser aplicada não só pelo CPC, cujos resultados mais se assemelharam ao DEA, mas também pelos demais indicadores sem perda de conteúdo.

As principais dificuldades encontradas na experimentação foram o uso de dados reais e a definição da constante não-arquimediana. Esses dois fatores, juntos, implicaram em resultados diferentes daqueles previstos em teoria. Fato este, bem conhecido quando se trata de dados reais coletados em campo. Isso indica que ao aplicar o DEA na prática deve-se cercar as condições para que a qualidade dos dados e o cumprimento das premissas do modelo DEA sejam garantidos.

## 5.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A metodologia DEA ainda é pouco explorada no Brasil para avaliação de cursos de graduação. Na prática, percebe-se que a DEA é explorada pontualmente por algumas IES, não sendo, portanto, uma ferramenta de uso generalizado. Este estudo se limitou aos problemas de programação linear de DEA propostos até 1984, porém outras evoluções têm sido desenvolvidas. Por exemplo, DEA com restrição de pesos permite que seja dado um peso mínimo diferenciado para cada categoria de dados, o que pode ser aplicado para cursos de graduação se for identificado que alguns *inputs* ou *outputs* devem, para todos os cursos, assumir pesos superiores a um valor definido ou ao peso de outro *input/output*. Além desse, outras formulações mais novas podem ser estudadas para a aplicação proposta.

Neste estudo, as categorias de dados utilizadas se limitaram aos dados estatísticos disponíveis publicamente que forneciam a metodologia usada na formação do valor. Porém, podem ter sido excluídos dados importantes que influenciam na qualidade dos cursos de graduação no Brasil. Dalmas (2000) sugere que as características socioeconômicas dos estudantes, por exemplo, podem ser variáveis discriminatórias na eficiência dos cursos de graduação em Administração do Sul do país. Dados como esses precisam ter sua importância testada antes de serem excluídos da modelagem DEA. O fato de não incluir no modelo todos os dados importantes implica na formação de uma fronteira de eficiência ilusória que não representa a real fronteira do setor.

Ademais, nesse estudo partiu-se da premissa que todos os cursos de uma mesma área de avaliação no Brasil prezenciam as mesmas condições de mercado. Porém, as características socioeconômicas do país são bastante peculiares entre suas regiões, o que pode acarretar em condições diferentes de mercado para cursos de graduação com sede em localidades distintas. No entanto há um *trade off* entre reduzir o número de DMU's e garantir as mesmas condições de mercado ou aumentar o número de DMU's e garantir o poder discriminatório do modelo. O ponto ótimo desse impasse precisa ser definido com cautela para cada área de avaliação de forma a garantir a viabilidade da metodologia DEA.

Por fim, a metodologia DEA pode ter sua aplicação explorada não só para avaliação de cursos de graduação, mas também para uma variedade de setores produtivos, incluindo empresas.

## REFERÊNCIAS

- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, 30(9):1078-1092 (1984). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>>. Acesso em: 06 fev. 2016.
- BECKENKAMP, M. T. **Análise envoltória de dados: considerações sobre o estabelecimento de restrições para os multiplicadores ótimos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- CASADO, F. L. Análise Envoltória de Dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. **Sociais e Humanas**, Santa Maria, v. 20, n. 01, p. 59-71, jan./jun. 2007.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, p. 429-444, 2 (1978).
- DALMAS, J. C. **Avaliação de eficiência produtiva de cursos de graduação, empregando Análise Envoltória de dados**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- DEAZONE. **Bibliography**. Disponível em: <<http://deazone.com/en/resources/bibliography>>. Acesso em: 27 jan. 2016a.
- DEAZONE. **Tutorial: Relative efficiency measurement**. Disponível em: <<http://deazone.com/en/resources/tutorial/relative-efficiency-measurement>>. Acesso em: 05 jan. 2016b.
- DEAZONE. **Tutorial: Solutions to the DEA model**. Disponível em: <<http://deazone.com/en/resources/tutorial/solutions-to-the-dea-model>>. Acesso em: 05 jan. 2016c.
- DEAZONE. **Tutorial: The Dual DEA Model**. Disponível em: <<http://deazone.com/en/resources/tutorial/the-dual-dea-model>>. Acesso em: 27 jan. 2016d.
- EDITORA ABRIL. **Base de dados avaliação de cursos do Guia do Estudante 2014**. Guia do Estudante. Disponível em: <[guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/](http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/)>. Acesso em: 09 jul. 2016.
- FARREL, M., J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)**, v. 120, n. 03, p. 253-290, 1957.
- FOLHA DE S. PAULO. **O que é RUF**. Disponível em: <<http://ruf.folha.uol.com.br/2014/oruf/comoefeitorankingcursos/>>. Acesso em: 09 jul. 2016a.
- FOLHA DE S. PAULO. **Base de dados para cálculo do RUF 2014**. Disponível em: <<http://ruf.folha.uol.com.br/2014/rankingdecursos/engenhariadeproducao/>>. Acesso em: 04 out. 2016b.



INEP. Nota Técnica Daes/INEP nº 57/2015. Assunto: **Cálculo do Conceito ENADE 2014**. Brasília, DF, 27 out. 2015a.

INEP. Nota Técnica Daes/INEP nº 58/2015. Assunto: **Cálculo do Conceito Preliminar de Curso 2014**. Brasília, DF, 27 out. 2015b.

INEP. **Sinaes**: Objetivos. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/superior-sinaes-objetivos>>. Acesso em: 13 fev. 2016a.

INEP. **Sinaes**: Instrumentos. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/superior-sinaes-instrumentos>>. Acesso em: 13 fev. 2016b.

INEP. **Censo da Educação Superior**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/superior-censosuperior>>. Acesso em: 13 fev. 2016c.

INEP. **ENADE**: Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes – Enade. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/enade>>. Acesso em: 13 fev. 2016d.

INEP. **Microdados Censo Superior 2014**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-microdados>>. Acesso em: 04 out. 2016e.

INEP. **Microdados ENADE 2014**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-microdados>>. Acesso em: 04 out. 2016f.

INEP. **Microdados IDD 2014**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-microdados>>. Acesso em: 04 out. 2016g.

INEP. **Base de dados para cálculo do CPC 2014**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-microdados>>. Acesso em: 04 out. 2016h.

INEP. **ENADE**: Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes – Perguntas Frequentes. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/enade/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 13 fev. 2016j.

INEP. **ENC – Provão** – Perguntas Frequentes. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/perguntas-frequentes2>>. Acesso em: 13 fev. 2016i.

LINGO<sup>®</sup> versão de teste para Windows 64bit: software para solução de problemas de programação linear, não-linear e inteira. Versão 15.0.63. **Lindo<sup>®</sup> Systems Inc.**, 2015. Disponível em: <[http://www.lindo.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35&Itemid=20](http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=20)>. Acesso em: 09 dez. 2015.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. **Curso de Análise de Envoltória de Dados**. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL: Pesquisa Operacional e Desenvolvimento Sustentável, 2005, Gramado, RS.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP. Diretoria de Avaliação da Educação Superior – Daes. Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – Sinaes. **Instrumento de avaliação de cursos de graduação presencial e a distância**. Brasília, 2015.

NEUMANN, C.;SCALICE, R. K. **Projeto de fábrica e layout**. 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

OLIVEIRA, V. F.; SILVA, D. M. **Avaliações de cursos de Engenharia de Produção realizadas pelo INEP, Guia do Estudante e Folha de São Paulo: um estudo comparativo**. 2016.

PANEPUCCI, G. T. M. **Avaliação de desempenho dos departamentos acadêmicos da UFSCar utilizando Análise de Envoltória de Dados - AED**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

SARKIS, J. **Preparing Your Data for DEA –Information Technology**. In: AVKIRAN, N. K. *Productivity Analysis in the Service Sector with Data Envelopment Analysis*. 3.ed. 2006.

SOUSA, V. P. **Manual de normalização para apresentação de teses, dissertações e trabalhos acadêmicos**. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2011. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos-e-produtos/normalizacao-2/>>. Acesso em: 07 fev. 2016.

SOUZA, G. S.;GOMES, E. G. **Região de viabilidade e comparação de grupos para a performance DEA não-arquimediana via regressão fracionada**. In: XLV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL: A Pesquisa Operacional na busca de eficiência nos serviços públicos e/ou privados, 2013, Natal, RN.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Tradução: Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica: Ana Maria Lima de Farias. 10.ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

TURRIONI, J. .; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Universidade Federal de Itajubá: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2012.

UFJF. **Graduação em Engenharia de Produção**: Grade Curricular. Juiz de Fora, MG. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/curriculos-ativos/grade-curricular/?CodCurso=49A&CodCurriculum=12009&Ano=2009&Semestre=1>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

## ANEXO A – QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO DO ENADE 2014: QUESTÕES 27 A 68

ORGANIZAÇÃO DIDÁTICO-PEDAGÓGICA	1 <input type="radio"/> Discordo Totalmente	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/> Concordo Totalmente	
27. As disciplinas cursadas contribuíram para sua formação integral, como cidadão e profissional.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
28. Os conteúdos abordados nas disciplinas do curso favoreceram sua atuação em estágios ou em atividades de iniciação profissional.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
29. As metodologias de ensino utilizadas no curso desafiaram você a aprofundar conhecimentos e desenvolver competências reflexivas e críticas.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
30. O curso propiciou experiências de aprendizagem inovadoras.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
31. O curso contribuiu para o desenvolvimento da sua consciência ética para o exercício profissional.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
32. No curso você teve oportunidade de aprender a trabalhar em equipe.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
33. O curso possibilitou aumentar sua capacidade de reflexão e argumentação.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
34. O curso promoveu o desenvolvimento da sua capacidade de pensar criticamente, analisar e refletir sobre soluções para problemas da sociedade.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
35. O curso contribuiu para você ampliar sua capacidade de comunicação nas formas oral e escrita.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
36. O curso contribuiu para o desenvolvimento da sua capacidade de aprender e atualizar-se permanentemente.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
37. As relações professor-aluno ao longo do curso estimularam você a estudar e aprender.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
38. Os planos de ensino apresentados pelos professores contribuíram para o desenvolvimento das atividades acadêmicas e para seus estudos.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica

Quadro 13 – Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 27 a 38.

Fonte: INEP, 2016f.

39. As referências bibliográficas indicadas pelos professores nos planos de ensino contribuíram para seus estudos e aprendizagens.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
40. Foram oferecidas oportunidades para os estudantes superarem dificuldades relacionadas ao processo de formação.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
41. A coordenação do curso esteve disponível para orientação acadêmica dos estudantes.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
42. O curso exigiu de você organização e dedicação frequente aos estudos.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
43. Foram oferecidas oportunidades para os estudantes participarem de programas, projetos ou atividades de extensão universitária.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
44. Foram oferecidas oportunidades para os estudantes participarem de projetos de iniciação científica e de atividades que estimularam a investigação acadêmica.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
45. O curso ofereceu condições para os estudantes participarem de eventos internos e/ou externos à instituição.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
46. A instituição ofereceu oportunidades para os estudantes atuarem como representantes em órgãos colegiados.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
47. O curso favoreceu a articulação do conhecimento teórico com atividades práticas.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
48. As atividades práticas foram suficientes para relacionar os conteúdos do curso com a prática, contribuindo para sua formação profissional.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
49. O curso propiciou <b>acesso a</b> conhecimentos atualizados e/ou contemporâneos em sua área de formação.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
50. O estágio supervisionado proporcionou experiências diversificadas para a sua formação.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
51. As atividades realizadas durante seu trabalho de conclusão de curso contribuíram para qualificar sua formação profissional.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
52. Foram oferecidas oportunidades para os estudantes realizarem intercâmbios e/ou estágios no país.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
53. Foram oferecidas oportunidades para os estudantes realizarem intercâmbios e/ou estágios fora do país.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica

Quadro 14 - Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 39 a 53.

Fonte: INEP, 2016f.

54. Os estudantes participaram de avaliações periódicas do curso (disciplinas, atuação dos professores, infraestrutura).	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
55. As avaliações da aprendizagem realizadas durante o curso foram compatíveis com os conteúdos ou temas trabalhados pelos professores.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
56. Os professores apresentaram disponibilidade para atender os estudantes fora do horário das aulas.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
57. Os professores demonstraram domínio dos conteúdos abordados nas disciplinas.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
58. Os professores utilizaram tecnologias da informação e comunicação (TICs) como estratégia de ensino (projektor multimídia, laboratório de informática, ambiente virtual de aprendizagem).	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
59. A instituição dispôs de quantidade suficiente de funcionários para o apoio administrativo e acadêmico.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
60. O curso disponibilizou monitores ou tutores para auxiliar os estudantes.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
61. As condições de infraestrutura das salas de aula foram adequadas.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
62. Os equipamentos e materiais disponíveis para as aulas práticas foram adequados para a quantidade de estudantes.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
63. Os ambientes e equipamentos destinados às aulas práticas foram adequados ao curso.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
64. A biblioteca dispôs das referências bibliográficas que os estudantes necessitaram.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
65. A instituição contou com biblioteca virtual ou conferiu acesso a obras disponíveis em acervos virtuais.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
66. As atividades acadêmicas desenvolvidas dentro e fora da sala de aula possibilitaram reflexão, convivência e respeito à diversidade.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
67. A instituição promoveu atividades de cultura, de lazer e de interação social.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica
68. A instituição dispôs de refeitório, cantina e banheiros em condições adequadas que atenderam as necessidades dos seus usuários.	1 <input type="radio"/>	2 <input type="radio"/>	3 <input type="radio"/>	4 <input type="radio"/>	5 <input type="radio"/>	6 <input type="radio"/>	( ) Não sei responder ( ) Não se aplica

Quadro 15 - Questionário socioeconômico do ENADE 2014: questões 54 a 68.

Fonte: INEP, 2016f.

## ANEXO B – BASE DE DADOS COMPLETA

Tabela 9 – Base completa com dados originais.

DMU	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	O1	O2	O3
1	0.0111	528.40	0.3902	0.6098	1.0000	5.3031	5.1925	211	3600	42.32	63	0
2	0.0000	539.35	0.4103	0.3846	0.9872	4.8466	4.4267	259	4050	40.94	1	0
3	0.0000	529.11	0.4333	0.2333	1.0000	4.6373	4.3378	228	3952	36.86	11	0
4	0.0115	596.34	0.7568	0.2432	0.8649	4.7449	4.3179	144	3617	48.06	65	0
5	1.0000	536.43	0.1739	0.6522	0.5652	5.5923	5.5799	48	3800	38.40	38	0
6	0.0000	558.01	0.3514	0.5405	0.3784	5.2744	4.9143	153	4080	42.04	56	0
7	0.0000	460.70	0.3636	0.4545	0.6364	5.9130	5.8967	39	4280	36.18	16	0
8	0.1399	507.11	0.1154	0.6538	0.1923	5.1002	4.9229	50	3633	40.70	23	0
9	0.5043	532.83	0.1628	0.7674	0.9767	5.6397	5.5268	197	3965	43.72	72	0.0021
10	1.0000	550.69	0.1818	0.6364	0.5909	5.0106	5.0204	76	3767	43.90	27	0
11	0.0000	563.05	0.2143	0.6429	0.7857	5.0558	4.8584	101	4080	48.36	107	0
12	0.6177	542.24	0.6667	0.3000	0.9667	5.0169	5.2239	134	4280	46.05	51	0
13	0.4150	578.62	0.3810	0.4762	1.0000	5.2277	5.2475	104	3937	43.93	48	0.0277
14	0.0536	545.67	0.3043	0.5435	0.7391	5.0296	5.0819	130	3600	42.09	52	0
15	0.0857	517.24	0.2400	0.5400	0.5600	5.2946	5.2371	167	3600	37.99	18	0
16	0.9931	563.24	0.2500	0.5000	0.8571	5.2158	5.3098	64	3600	46.77	32	0
17	0.1211	582.32	0.2593	0.4074	0.3333	5.6925	5.7040	84	4060	47.76	38	0.0090
18	0.0268	553.48	0.4194	0.4839	0.1613	4.9071	4.5770	161	3600	44.68	92	0
19	0.0927	583.58	0.4000	0.5273	0.3636	5.4136	5.4514	149	5460	51.80	12	0
20	0.1922	507.39	0.5366	0.3902	0.8049	5.0231	4.9059	259	4220	41.85	33	0
21	0.0000	514.16	0.4815	0.2593	0.9815	5.4334	5.3735	87	4016	46.58	29	0
22	0.1793	570.98	0.1379	0.7931	0.4483	4.9564	4.6536	64	3600	43.38	23	0
23	0.0821	539.83	0.2727	0.6364	0.8182	4.7509	4.9489	98	3600	41.49	22	0
24	0.0795	533.47	0.7143	0.2857	0.9286	5.4242	5.4042	114	4400	44.99	22	0
25	0.0000	587.95	0.2500	0.5625	0.6250	5.5514	5.2235	167	3700	51.94	10	0
26	0.0857	549.70	0.2000	0.4000	0.3800	5.7268	5.6822	121	4210	41.10	116	0.0013
27	0.0234	558.05	0.2000	0.5000	0.4500	5.9900	5.9615	60	3630	52.97	21	0
28	0.0000	548.07	0.4000	0.6000	0.4667	4.8379	4.3085	36	3640	39.70	19	0
29	0.0000	648.57	0.5143	0.4286	0.4857	4.9254	5.1387	160	4380	59.44	8	0
30	0.0000	529.88	0.7619	0	1.0000	4.8506	4.5051	255	3605	40.99	1	0
31	0.0000	528.63	0.4516	0.3065	0.9677	4.7662	4.4945	519	4050	41.27	129	0
32	0.0000	557.02	0.4118	0.4412	1.0000	4.4538	3.8021	316	4050	46.27	102	0
33	0.0000	525.52	0.4688	0.3125	1.0000	5.0385	4.6496	231	4050	38.29	49	0
34	0.0000	512.21	0.4615	0.2821	1.0000	5.3577	5.3203	199	4050	42.11	28	0
35	0.0000	508.85	0.4375	0.3438	1.0000	5.0913	5.0139	390	4050	41.53	2	0
36	0.0945	567.33	0.1212	0.3030	0.4848	4.4516	4.7096	46	4160	55.99	13	0
37	0.0000	553.72	0.3200	0.4800	0.7600	5.1876	4.9507	115	3680	41.38	26	0
38	0.0070	523.55	0.2857	0.6857	0.4571	5.3860	5.2332	106	3600	46.19	91	0
39	0.0000	540.07	0.2143	0.4762	0.5238	4.9100	4.8125	112	4440	49.90	56	0
40	0.0000	521.65	0.0800	0.3600	0.6800	5.3487	5.2280	10	3600	43.19	26	0
41	0.0000	565.78	0.5333	0.4667	1.0000	5.4752	5.3172	120	3600	42.03	77	0
42	0.0000	568.37	0.1034	0.5517	0.4138	4.9234	5.1035	68	3920	50.10	18	0
43	0.0000	519.14	0.5682	0.2500	1.0000	4.8834	4.3776	281	4000	44.47	70	0
44	0.0000	515.51	0.5769	0.3077	1.0000	4.9497	4.3433	120	3947	42.54	6	0
45	0.0000	555.88	0.2222	0.5185	0.9630	5.2617	5.1015	125	3600	39.98	70	0
46	0.0161	528.46	0.1667	0.4167	0.7500	5.2535	5.2108	29	3699	43.90	37	0
47	0.0000	511.81	0.2800	0.6000	0.8400	5.0815	4.7025	194	3752	36.38	22	0

Tabela 9 – Base completa com dados originais (continuação).

48	0.0031	526.07	0.1034	0.7931	0.6552	4.9152	4.8070	89	4356	38.36	38	0
49	0.4500	510.72	0.1143	0.3714	1.0000	5.6831	5.7588	63	3660	37.25	18	0
50	0.0000	624.09	0.1282	0.8718	0.7949	5.2156	5.3567	150	3456	49.55	38	0
51	0.0000	518.90	0.2222	0.3333	0.3889	5.3946	5.0505	0	3600	41.03	30	0
52	0.0000	495.72	0.4286	0.5357	1.0000	5.6015	5.6709	108	3800	38.44	58	0
53	0.1949	593.46	0.2174	0.3043	0.3913	5.3033	5.1993	107	3613	44.76	51	0.0096
54	1.0000	570.44	0.4783	0.4565	0.8043	4.8983	4.6973	61	3910	43.82	31	0.0317
55	0.0919	587.35	0.3971	0.3824	0.5735	4.7839	4.5110	103	4440	43.28	30	0
56	0.4356	578.88	0.6842	0.3158	1.0000	5.0856	4.8858	52	3650	45.94	27	0.0222
57	0.0928	681.40	0.8261	0.1478	0.6696	5.0334	5.4756	235	3825	51.74	129	0.0280
58	0	567.64	0.3600	0.6000	0.9200	4.8275	4.9123	59	3742	51.42	26	0
59	0.1609	574.96	0.4737	0.4211	0.8421	4.7828	4.6854	159	3603	41.51	33	0
60	0	575.76	0.1613	0.6774	0.7742	5.4456	5.0928	56	4320	41.52	17	0
61	0.4017	582.01	0.2400	0.4800	0.8800	5.1577	5.0417	127	3600	45.16	26	0
62	0	579.81	0.1364	0.6818	0.8409	4.7005	4.6281	78	3900	38.60	73	0
63	0.0036	579.22	0.2941	0.5176	0.3412	4.7875	4.8257	194	4320	46.51	73	0.0036
64	1.0000	530.16	0.4375	0.4167	1.0000	5.0943	5.0048	117	3600	38.98	21	0
65	0.0508	502.99	0.2333	0.6333	1.0000	5.0643	4.5657	65	4020	38.63	48	0.0034
66	0.0617	553.71	0.1290	0.3548	0.5806	5.7030	5.7305	76	3645	46.35	28	0
67	0.2545	598.83	0.3014	0.5890	0.8356	5.5132	5.4872	50	3900	49.07	17	0.0182
68	0.0303	565.55	0.2121	0.6061	0.8788	4.8831	4.4507	72	4240	45.83	35	0
69	0.1014	594.73	0.6111	0.1111	1.0000	4.6947	4.2324	63	4464	44.47	33	0.0553
70	0.1424	718.75	0.7949	0.1282	1.0000	4.7328	4.9543	59	3720	63.43	22	0.0453
71	0.2395	720.38	0.9174	0.0744	1.0000	5.0197	4.8808	95	3600	59.80	67	0.1605
72	0.2194	623.34	0.7143	0.1429	1.0000	4.5169	4.3470	50	3870	50.35	21	0.0464
73	0.0586	656.92	0.7736	0.1509	1.0000	4.5775	4.5351	73	3600	55.59	51	0.0842
74	0.3357	693.75	0.7407	0.1111	1.0000	4.2671	3.7401	63	3935	57.57	22	0.1607
75	0.0580	753.22	0.9630	0.0370	1.0000	4.4647	4.4346	89	3630	69.41	81	0.2077
76	0.2813	561.74	0.5556	0.2407	1.0000	4.7702	4.7033	97	3915	53.45	46	0.2005
77	0.3840	700.06	0.8545	0.1091	1.0000	4.8426	4.7792	89	3930	60.34	45	0.0974
78	0.2560	581.38	0.3590	0.5641	0.3462	4.8159	4.7905	117	4200	43.79	63	0.0022
79	0	500.22	0.1463	0.7317	0.7805	4.8844	4.1004	3	4280	38.24	29	0
80	0.2957	645.62	0.6262	0.3645	0.6262	4.8705	4.7678	236	4214	51.13	115	0.0460
81	0.2548	529.23	0.2500	0.6875	1.0000	4.5925	3.2811	66	3855	39.76	11	0
82	0	548.06	0.3404	0.4894	0.6383	4.6953	4.5668	207	3600	51.48	43	0
83	0.0070	589.17	0.4333	0.5000	0.6333	4.9093	4.8387	84	3628	52.06	55	0
84	0.1352	624.08	0.1538	0.8462	0.9231	5.5342	5.4958	108	4180	50.54	46	0

Fonte: INEP, 2016h, 2016e, 2016f, 2016g

## ANEXO C – MÉTODO PARA NORMALIZAR BASE DE DADOS

O método aplicado neste texto para normalização da base de dados é o sugerido por Sarkis (2006). O método consiste em calcular a média de cada conjunto de dados e depois dividir cada dado pela média do conjunto. Por exemplo, para a normalização do conjunto de dados I1, primeiro calcula-se a média dos dados de I1:

$$\frac{X11+X12+X13+(\dots)+X182+X183+X184}{84} = \mu \quad (36)$$

Depois, já com a média do conjunto de dados calculada, divide-se cada ponto de dados pela média para encontrar o dado normalizado. Por exemplo:

$$\frac{X11}{\mu} = \overline{X11} \quad (37)$$

Neste exemplo,  $\overline{X11}$  é o dado X11 normalizado.

## ANEXO D – PPL COMPLETO PARA CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DA DMU<sub>1</sub>

BCC Básico com Orientação a Outputs – Modelo do Envelopamento com Dados Originais:

!OBJETIVO; (38)

MAX = Z0 + (SI1 + SI2 + SI3 + SI4 + SI5 + SI6 + SI7 + SI8 + SI9 + SO1 + SO2 + SO3) \* 0.001;

!RESTRICAO OUTPUTS;

42.31928571\*L1 + 40.94416667\*L2 + 36.86458333\*L3 + 48.06415094\*L4 + 38.39714286\*L5 + 42.03943662\*L6 + 36.18\*L7 + 40.69677419\*L8 + 43.72307692\*L9 + 43.895\*L10 + 48.35657895\*L11 + 46.04576271\*L12 + 43.92916667\*L13 + 42.08636364\*L14 + 37.98787879\*L15 + 46.77419355\*L16 + 47.75897436\*L17 + 44.68265306\*L18 + 51.79565217\*L19 + 41.85\*L20 + 46.5826087\*L21 + 43.37857143\*L22 + 41.48518519\*L23 + 44.99047619\*L24 + 51.94285714\*L25 + 41.10406504\*L26 + 52.96923077\*L27 + 39.6962963\*L28 + 59.44166667\*L29 + 40.98965517\*L30 + 41.27486631\*L31 + 46.27272727\*L32 + 38.29324324\*L33 + 42.10989011\*L34 + 41.5278481\*L35 + 55.99\*L36 + 41.38163265\*L37 + 46.18545455\*L38 + 49.9\*L39 + 43.19142857\*L40 + 42.03047619\*L41 + 50.0952381\*L42 + 44.46666667\*L43 + 42.54285714\*L44 + 39.98035714\*L45 + 43.9\*L46 + 36.375\*L47 + 38.35813953\*L48 + 37.25322581\*L49 + 49.55285714\*L50 + 41.03103448\*L51 + 38.44393939\*L52 + 44.75714286\*L53 + 43.81639344\*L54 + 43.28448276\*L55 + 45.944\*L56 + 51.74087591\*L57 + 51.42105263\*L58 + 41.51333333\*L59 + 41.52105263\*L60 + 45.16315789\*L61 + 38.5981982\*L62 + 46.50588235\*L63 + 38.97948718\*L64 + 38.62857143\*L65 + 46.34772727\*L66 + 49.068\*L67 + 45.82631579\*L68 + 44.46818182\*L69 + 63.42857143\*L70 + 59.79666667\*L71 + 50.3547619\*L72 + 55.59146341\*L73 + 57.57142857\*L74 + 69.40707965\*L75 + 53.45492958\*L76 + 60.338\*L77 + 43.79021739\*L78 + 38.23666667\*L79 + 51.12822581\*L80 + 39.75925926\*L81 + 51.4787234\*L82 + 52.0625\*L83 + 50.53783784\*L84 = (42.31928571\*Z0) + SO1;

63\*L1 + 1\*L2 + 11\*L3 + 65\*L4 + 38\*L5 + 56\*L6 + 16\*L7 + 23\*L8 + 72\*L9 + 27\*L10 + 107\*L11 + 51\*L12 + 48\*L13 + 52\*L14 + 18\*L15 + 32\*L16 + 38\*L17 + 92\*L18 + 12\*L19 + 33\*L20 + 29\*L21 + 23\*L22 + 22\*L23 + 22\*L24 + 10\*L25 + 116\*L26 + 21\*L27 + 19\*L28 + 8\*L29 + 1\*L30 + 129\*L31 + 102\*L32 + 49\*L33 + 28\*L34 + 2\*L35 + 13\*L36 + 26\*L37 + 91\*L38 + 56\*L39 + 26\*L40 + 77\*L41 + 18\*L42 + 70\*L43 + 6\*L44 + 70\*L45 + 37\*L46 + 22\*L47 + 38\*L48 + 18\*L49 + 38\*L50 + 30\*L51 + 58\*L52 + 51\*L53 + 31\*L54 + 30\*L55 + 27\*L56 + 129\*L57 + 26\*L58 + 33\*L59 + 17\*L60 + 26\*L61 + 73\*L62 + 73\*L63 + 21\*L64 + 48\*L65 + 28\*L66 + 17\*L67 + 35\*L68 + 33\*L69 + 22\*L70 + 67\*L71 + 21\*L72 + 51\*L73 + 22\*L74 + 81\*L75 + 46\*L76 + 45\*L77 + 63\*L78 + 29\*L79 + 115\*L80 + 11\*L81 + 43\*L82 + 55\*L83 + 46\*L84 = (63\*Z0) + SO2;

0\*L1 + 0\*L2 + 0\*L3 + 0\*L4 + 0\*L5 + 0\*L6 + 0\*L7 + 0\*L8 + 0.002136752\*L9 + 0\*L10 + 0\*L11 + 0\*L12 + 0.027667984\*L13 + 0\*L14 + 0\*L15 + 0\*L16 + 0.00896861\*L17 + 0\*L18 + 0\*L19 + 0\*L20 + 0\*L21 + 0\*L22 + 0\*L23 + 0\*L24 + 0\*L25 + 0.001298701\*L26 + 0\*L27 + 0\*L28 + 0\*L29 + 0\*L30 + 0\*L31 + 0\*L32 + 0\*L33 + 0\*L34 + 0\*L35 + 0\*L36 + 0\*L37 + 0\*L38 + 0\*L39 + 0\*L40 + 0\*L41 + 0\*L42 + 0\*L43 + 0\*L44 + 0\*L45 + 0\*L46 + 0\*L47 + 0\*L48 + 0\*L49 + 0\*L50 + 0\*L51 + 0\*L52 + 0.009584665\*L53 + 0.031746032\*L54 + 0\*L55 + 0.022222222\*L56 + 0.027964206\*L57 + 0\*L58 + 0\*L59 + 0\*L60 + 0\*L61 + 0\*L62 + 0.003623188\*L63 + 0\*L64 + 0.003389831\*L65 + 0\*L66 + 0.018181818\*L67 + 0\*L68 + 0.055299539\*L69 + 0.045307443\*L70 + 0.160465116\*L71 + 0.046413502\*L72 + 0.084249084\*L73 + 0.160714286\*L74 + 0.207729469\*L75 + 0.200520833\*L76 + 0.097421203\*L77 + 0.002188184\*L78 + 0\*L79 + 0.046002191\*L80 + 0\*L81 + 0\*L82 + 0\*L83 + 0\*L84 = (0\*Z0) + SO3;

!RESTRICAO INPUTS;



$$\begin{aligned}
&0.011058452*L1 + 0*L2 + 0*L3 + 0.011461318*L4 + 1*L5 + 0*L6 + 0*L7 + 0.139896373*L8 + \\
&0.504273504*L9 + 1*L10 + 0*L11 + 0.617728532*L12 + 0.415019763*L13 + 0.05362776*L14 + \\
&0.085653105*L15 + 0.993055556*L16 + 0.121076233*L17 + 0.026804124*L18 + 0.092741935*L19 \\
&+ 0.192239859*L20 + 0*L21 + 0.179310345*L22 + 0.082051282*L23 + 0.079545455*L24 + 0*L25 \\
&+ 0.085714286*L26 + 0.0234375*L27 + 0*L28 + 0*L29 + 0*L30 + 0*L31 + 0*L32 + 0*L33 + \\
&0*L34 + 0*L35 + 0.094488189*L36 + 0*L37 + 0.007025761*L38 + 0*L39 + 0*L40 + 0*L41 + \\
&0*L42 + 0*L43 + 0*L44 + 0*L45 + 0.016129032*L46 + 0*L47 + 0.003125*L48 + 0.45*L49 + \\
&0*L50 + 0*L51 + 0*L52 + 0.194888179*L53 + 1*L54 + 0.091872792*L55 + 0.435555556*L56 + \\
&0.092841163*L57 + 0*L58 + 0.160883281*L59 + 0*L60 + 0.401746725*L61 + 0*L62 + \\
&0.003623188*L63 + 1*L64 + 0.050847458*L65 + 0.061728395*L66 + 0.254545455*L67 + \\
&0.03030303*L68 + 0.101382488*L69 + 0.142394822*L70 + 0.239534884*L71 + 0.219409283*L72 \\
&+ 0.058608059*L73 + 0.335714286*L74 + 0.057971014*L75 + 0.28125*L76 + 0.383954155*L77 + \\
&0.256017505*L78 + 0*L79 + 0.295728368*L80 + 0.254794521*L81 + 0*L82 + 0.007017544*L83 + \\
&0.135231317*L84 = 0.011058452 - SI1;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&528.4013889*L1 + 539.345122*L2 + 529.1075*L3 + 596.3375*L4 + 536.4340909*L5 + \\
&558.0078947*L6 + 460.696875*L7 + 507.1109375*L8 + 532.8336957*L9 + 550.6897727*L10 + \\
&563.0546512*L11 + 542.2445313*L12 + 578.6234848*L13 + 545.6734375*L14 + 517.2426471*L15 \\
&+ 563.2443182*L16 + 582.3192308*L17 + 553.4782258*L18 + 583.5791667*L19 + \\
&507.390625*L20 + 514.1583333*L21 + 570.9803571*L22 + 539.8277778*L23 + 533.4666667*L24 \\
&+ 587.95*L25 + 549.7032609*L26 + 558.0541667*L27 + 548.0725*L28 + 648.5732143*L29 + \\
&529.8802632*L30 + 528.6267857*L31 + 557.0201613*L32 + 525.5175926*L33 + 512.2066667*L34 \\
&+ 508.8455128*L35 + 567.325*L36 + 553.7230769*L37 + 523.55*L38 + 540.0666667*L39 + \\
&521.6453125*L40 + 565.775*L41 + 568.365*L42 + 519.1351563*L43 + 515.5083333*L44 + \\
&555.8761364*L45 + 528.4625*L46 + 511.8089286*L47 + 526.0733333*L48 + 510.7203704*L49 + \\
&624.0947917*L50 + 518.896875*L51 + 495.7203947*L52 + 593.4565789*L53 + 570.4416667*L54 \\
&+ 587.346875*L55 + 578.88*L56 + 681.3972222*L57 + 567.640625*L58 + 574.9625*L59 + \\
&575.7571429*L60 + 582.00625*L61 + 579.8083333*L62 + 579.2171053*L63 + 530.1642857*L64 + \\
&502.9875*L65 + 553.7090909*L66 + 598.825*L67 + 565.545*L68 + 594.7302083*L69 + \\
&718.75*L70 + 720.3792857*L71 + 623.3384615*L72 + 656.9208333*L73 + 693.753125*L74 + \\
&753.218617*L75 + 561.7398148*L76 + 700.0578947*L77 + 581.3793478*L78 + 500.2194444*L79 \\
&+ 645.62125*L80 + 529.225*L81 + 548.055*L82 + 589.16875*L83 + 624.0777778*L84 = \\
&528.4013889 - SI2;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0.390243902*L1 + 0.41025641*L2 + 0.433333333*L3 + 0.756756757*L4 + 0.173913043*L5 + \\
&0.351351351*L6 + 0.363636364*L7 + 0.115384615*L8 + 0.162790698*L9 + 0.181818182*L10 + \\
&0.214285714*L11 + 0.666666667*L12 + 0.380952381*L13 + 0.304347826*L14 + 0.24*L15 + \\
&0.25*L16 + 0.259259259*L17 + 0.419354839*L18 + 0.4*L19 + 0.536585366*L20 + \\
&0.481481481*L21 + 0.137931034*L22 + 0.272727273*L23 + 0.714285714*L24 + 0.25*L25 + \\
&0.2*L26 + 0.2*L27 + 0.4*L28 + 0.514285714*L29 + 0.761904762*L30 + 0.451612903*L31 + \\
&0.411764706*L32 + 0.46875*L33 + 0.461538462*L34 + 0.4375*L35 + 0.121212121*L36 + \\
&0.32*L37 + 0.285714286*L38 + 0.214285714*L39 + 0.08*L40 + 0.533333333*L41 + \\
&0.103448276*L42 + 0.568181818*L43 + 0.576923077*L44 + 0.222222222*L45 + 0.166666667*L46 \\
&+ 0.28*L47 + 0.103448276*L48 + 0.114285714*L49 + 0.128205128*L50 + 0.222222222*L51 + \\
&0.428571429*L52 + 0.217391304*L53 + 0.47826087*L54 + 0.397058824*L55 + 0.684210526*L56 \\
&+ 0.826086957*L57 + 0.36*L58 + 0.473684211*L59 + 0.161290323*L60 + 0.24*L61 + \\
&0.136363636*L62 + 0.294117647*L63 + 0.4375*L64 + 0.233333333*L65 + 0.129032258*L66 + \\
&0.301369863*L67 + 0.212121212*L68 + 0.611111111*L69 + 0.794871795*L70 + 0.917355372*L71 \\
&+ 0.714285714*L72 + 0.773584906*L73 + 0.740740741*L74 + 0.962962963*L75 + \\
&0.555555556*L76 + 0.854545455*L77 + 0.358974359*L78 + 0.146341463*L79 + 0.626168224*L80 \\
&+ 0.25*L81 + 0.340425532*L82 + 0.433333333*L83 + 0.153846154*L84 = 0.390243902 - SI3;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0.609756098*L1 + 0.384615385*L2 + 0.233333333*L3 + 0.243243243*L4 + 0.652173913*L5 + \\
&0.540540541*L6 + 0.454545455*L7 + 0.653846154*L8 + 0.76744186*L9 + 0.636363636*L10 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0.642857143*L11 + 0.3*L12 + 0.476190476*L13 + 0.543478261*L14 + 0.54*L15 + 0.5*L16 + \\
&0.407407407*L17 + 0.483870968*L18 + 0.527272727*L19 + 0.390243902*L20 + 0.259259259*L21 \\
&+ 0.793103448*L22 + 0.636363636*L23 + 0.285714286*L24 + 0.5625*L25 + 0.4*L26 + 0.5*L27 + \\
&0.6*L28 + 0.428571429*L29 + 0*L30 + 0.306451613*L31 + 0.441176471*L32 + 0.3125*L33 + \\
&0.282051282*L34 + 0.34375*L35 + 0.303030303*L36 + 0.48*L37 + 0.685714286*L38 + \\
&0.476190476*L39 + 0.36*L40 + 0.466666667*L41 + 0.551724138*L42 + 0.25*L43 + \\
&0.307692308*L44 + 0.518518519*L45 + 0.416666667*L46 + 0.6*L47 + 0.793103448*L48 + \\
&0.371428571*L49 + 0.871794872*L50 + 0.333333333*L51 + 0.535714286*L52 + 0.304347826*L53 \\
&+ 0.456521739*L54 + 0.382352941*L55 + 0.315789474*L56 + 0.147826087*L57 + 0.6*L58 + \\
&0.421052632*L59 + 0.677419355*L60 + 0.48*L61 + 0.681818182*L62 + 0.517647059*L63 + \\
&0.416666667*L64 + 0.633333333*L65 + 0.35483871*L66 + 0.589041096*L67 + 0.606060606*L68 \\
&+ 0.111111111*L69 + 0.128205128*L70 + 0.074380165*L71 + 0.142857143*L72 + \\
&0.150943396*L73 + 0.111111111*L74 + 0.037037037*L75 + 0.240740741*L76 + 0.109090909*L77 \\
&+ 0.564102564*L78 + 0.731707317*L79 + 0.364485981*L80 + 0.6875*L81 + 0.489361702*L82 + \\
&0.5*L83 + 0.846153846*L84 = 0.609756098 - SI4;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&1*L1 + 0.987179487*L2 + 1*L3 + 0.864864865*L4 + 0.565217391*L5 + 0.378378378*L6 + \\
&0.636363636*L7 + 0.192307692*L8 + 0.976744186*L9 + 0.590909091*L10 + 0.785714286*L11 + \\
&0.966666667*L12 + 1*L13 + 0.739130435*L14 + 0.56*L15 + 0.857142857*L16 + \\
&0.333333333*L17 + 0.161290323*L18 + 0.363636364*L19 + 0.804878049*L20 + 0.981481481*L21 \\
&+ 0.448275862*L22 + 0.818181818*L23 + 0.928571429*L24 + 0.625*L25 + 0.38*L26 + 0.45*L27 + \\
&0.466666667*L28 + 0.485714286*L29 + 1*L30 + 0.967741935*L31 + 1*L32 + 1*L33 + 1*L34 + \\
&1*L35 + 0.484848485*L36 + 0.76*L37 + 0.457142857*L38 + 0.523809524*L39 + 0.68*L40 + \\
&1*L41 + 0.413793103*L42 + 1*L43 + 1*L44 + 0.962962963*L45 + 0.75*L46 + 0.84*L47 + \\
&0.655172414*L48 + 1*L49 + 0.794871795*L50 + 0.388888889*L51 + 1*L52 + 0.391304348*L53 + \\
&0.804347826*L54 + 0.573529412*L55 + 1*L56 + 0.669565217*L57 + 0.92*L58 + \\
&0.842105263*L59 + 0.774193548*L60 + 0.88*L61 + 0.840909091*L62 + 0.341176471*L63 + \\
&1*L64 + 1*L65 + 0.580645161*L66 + 0.835616438*L67 + 0.878787879*L68 + 1*L69 + 1*L70 + \\
&1*L71 + 1*L72 + 1*L73 + 1*L74 + 1*L75 + 1*L76 + 1*L77 + 0.346153846*L78 + \\
&0.780487805*L79 + 0.626168224*L80 + 1*L81 + 0.638297872*L82 + 0.633333333*L83 + \\
&0.923076923*L84 = 1 - SI5;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&5.303127722*L1 + 4.846550061*L2 + 4.637282581*L3 + 4.744910366*L4 + 5.592313293*L5 + \\
&5.274446999*L6 + 5.913043478*L7 + 5.100159037*L8 + 5.63971368*L9 + 5.010566447*L10 + \\
&5.055788371*L11 + 5.01693244*L12 + 5.227664449*L13 + 5.029601136*L14 + 5.294583403*L15 \\
&+ 5.215760085*L16 + 5.692470838*L17 + 4.907132139*L18 + 5.413619895*L19 + \\
&5.023139691*L20 + 5.433364766*L21 + 4.956435829*L22 + 4.750851847*L23 + 5.424213782*L24 \\
&+ 5.551383399*L25 + 5.726809403*L26 + 5.989966555*L27 + 4.837944664*L28 + \\
&4.925409992*L29 + 4.850598736*L30 + 4.766188397*L31 + 4.453794127*L32 + 5.038503767*L33 \\
&+ 5.357705514*L34 + 5.091326793*L35 + 4.451628082*L36 + 5.18761321*L37 + \\
&5.386034256*L38 + 4.910000746*L39 + 5.348697832*L40 + 5.475182763*L41 + 4.923435777*L42 \\
&+ 4.883434224*L43 + 4.949702616*L44 + 5.261696275*L45 + 5.253545687*L46 + \\
&5.081521739*L47 + 4.9152116*L48 + 5.683134321*L49 + 5.215634892*L50 + 5.394604743*L51 + \\
&5.601459863*L52 + 5.303279068*L53 + 4.898305235*L54 + 4.783899679*L55 + 5.085586262*L56 \\
&+ 5.033412719*L57 + 4.827498588*L58 + 4.782779628*L59 + 5.44561453*L60 + \\
&5.157740448*L61 + 4.700459803*L62 + 4.787477657*L63 + 5.094344062*L64 + 5.064329717*L65 \\
&+ 5.70301068*L66 + 5.513185314*L67 + 4.883087165*L68 + 4.694737682*L69 + \\
&4.732756703*L70 + 5.019715691*L71 + 4.516922956*L72 + 4.5775355*L73 + 4.267118898*L74 + \\
&4.464651418*L75 + 4.770247923*L76 + 4.842570111*L77 + 4.815922257*L78 + 4.884416695*L79 \\
&+ 4.870505618*L80 + 4.592457608*L81 + 4.695343874*L82 + 4.909306579*L83 + \\
&5.534226896*L84 = 5.303127722 - SI6;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&5.192485255*L1 + 4.426664281*L2 + 4.337789661*L3 + 4.317879927*L4 + 5.579944179*L5 + \\
&4.914345839*L6 + 5.896666667*L7 + 4.922857143*L8 + 5.526810791*L9 + 5.020436927*L10 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 4.858433735*L11 + 5.223863636*L12 + 5.247518286*L13 + 5.081944444*L14 + 5.237100737*L15 \\
& + 5.30976431*L16 + 5.703991131*L17 + 4.577006173*L18 + 5.451388889*L19 + \\
& 4.905862547*L20 + 5.373505051*L21 + 4.653605016*L22 + 4.948850575*L23 + 5.404150198*L24 \\
& + 5.223484848*L25 + 5.682208111*L26 + 5.961538462*L27 + 4.308516196*L28 + \\
& 5.138699495*L29 + 4.505129419*L30 + 4.494532389*L31 + 3.802098857*L32 + 4.64957265*L33 \\
& + 5.320324457*L34 + 5.01385696*L35 + 4.70959596*L36 + 4.950693374*L37 + 5.233156566*L38 \\
& + 4.812464265*L39 + 5.228030303*L40 + 5.317198534*L41 + 5.103535354*L42 + \\
& 4.377615093*L43 + 4.343333333*L44 + 5.101515152*L45 + 5.210784314*L46 + 4.702525253*L47 \\
& + 4.806993007*L48 + 5.758801248*L49 + 5.356749311*L50 + 5.050454545*L51 + \\
& 5.670895666*L52 + 5.199320794*L53 + 4.697294372*L54 + 4.51097263*L55 + 4.885791881*L56 \\
& + 5.47559387*L57 + 4.912337662*L58 + 4.685435993*L59 + 5.09280303*L60 + 5.041666667*L61 \\
& + 4.628102767*L62 + 4.825716403*L63 + 5.004761905*L64 + 4.565724816*L65 + \\
& 5.730496454*L66 + 5.487229437*L67 + 4.450677831*L68 + 4.232378129*L69 + 4.954338843*L70 \\
& + 4.880834945*L71 + 4.346969697*L72 + 4.535059901*L73 + 3.74013104*L74 + 4.43459596*L75 \\
& + 4.703260453*L76 + 4.779224942*L77 + 4.790495868*L78 + 4.100413223*L79 + \\
& 4.767805795*L80 + 3.281144781*L81 + 4.566848485*L82 + 4.838657764*L83 + 5.495833333*L84 \\
& = 5.192485255 - SI7;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 211*L1 + 259*L2 + 228*L3 + 144*L4 + 48*L5 + 153*L6 + 39*L7 + 50*L8 + 197*L9 + 76*L10 + \\
& 101*L11 + 134*L12 + 104*L13 + 130*L14 + 167*L15 + 64*L16 + 84*L17 + 161*L18 + 149*L19 + \\
& 259*L20 + 87*L21 + 64*L22 + 98*L23 + 114*L24 + 167*L25 + 121*L26 + 60*L27 + 36*L28 + \\
& 160*L29 + 255*L30 + 519*L31 + 316*L32 + 231*L33 + 199*L34 + 390*L35 + 46*L36 + 115*L37 \\
& + 106*L38 + 112*L39 + 10*L40 + 120*L41 + 68*L42 + 281*L43 + 120*L44 + 125*L45 + 29*L46 + \\
& 194*L47 + 89*L48 + 63*L49 + 150*L50 + 0*L51 + 108*L52 + 107*L53 + 61*L54 + 103*L55 + \\
& 52*L56 + 235*L57 + 59*L58 + 159*L59 + 56*L60 + 127*L61 + 78*L62 + 194*L63 + 117*L64 + \\
& 65*L65 + 76*L66 + 50*L67 + 72*L68 + 63*L69 + 59*L70 + 95*L71 + 50*L72 + 73*L73 + 63*L74 \\
& + 89*L75 + 97*L76 + 89*L77 + 117*L78 + 3*L79 + 236*L80 + 66*L81 + 207*L82 + 84*L83 + \\
& 108*L84 = 211 - SI8;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 3600*L1 + 4050*L2 + 3952*L3 + 3617*L4 + 3800*L5 + 4080*L6 + 4280*L7 + 3633*L8 + 3965*L9 \\
& + 3767*L10 + 4080*L11 + 4280*L12 + 3937*L13 + 3600*L14 + 3600*L15 + 3600*L16 + 4060*L17 \\
& + 3600*L18 + 5460*L19 + 4220*L20 + 4016*L21 + 3600*L22 + 3600*L23 + 4400*L24 + 3700*L25 \\
& + 4210*L26 + 3630*L27 + 3640*L28 + 4380*L29 + 3605*L30 + 4050*L31 + 4050*L32 + 4050*L33 \\
& + 4050*L34 + 4050*L35 + 4160*L36 + 3680*L37 + 3600*L38 + 4440*L39 + 3600*L40 + 3600*L41 \\
& + 3920*L42 + 4000*L43 + 3947*L44 + 3600*L45 + 3699*L46 + 3752*L47 + 4356*L48 + 3660*L49 \\
& + 3456*L50 + 3600*L51 + 3800*L52 + 3613*L53 + 3910*L54 + 4440*L55 + 3650*L56 + 3825*L57 \\
& + 3742*L58 + 3603*L59 + 4320*L60 + 3600*L61 + 3900*L62 + 4320*L63 + 3600*L64 + 4020*L65 \\
& + 3645*L66 + 3900*L67 + 4240*L68 + 4464*L69 + 3720*L70 + 3600*L71 + 3870*L72 + 3600*L73 \\
& + 3935*L74 + 3630*L75 + 3915*L76 + 3930*L77 + 4200*L78 + 4280*L79 + 4214*L80 + 3855*L81 \\
& + 3600*L82 + 3628*L83 + 4180*L84 = 3600 - SI9;
\end{aligned}$$

!RESTRICOES DO MODELO;

$$\begin{aligned}
& L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11 + L12 + L13 + L14 + L15 + L16 + L17 + \\
& L18 + L19 + L20 + L21 + L22 + L23 + L24 + L25 + L26 + L27 + L28 + L29 + L30 + L31 + L32 + \\
& L33 + L34 + L35 + L36 + L37 + L38 + L39 + L40 + L41 + L42 + L43 + L44 + L45 + L46 + L47 + \\
& L48 + L49 + L50 + L51 + L52 + L53 + L54 + L55 + L56 + L57 + L58 + L59 + L60 + L61 + L62 + \\
& L63 + L64 + L65 + L66 + L67 + L68 + L69 + L70 + L71 + L72 + L73 + L74 + L75 + L76 + L77 + \\
& L78 + L79 + L80 + L81 + L82 + L83 + L84 = 1;
\end{aligned}$$

BCC Básico com Orientação a *Outputs* – Modelo do Envelopamento com Dados Normalizados:

!OBJETIVO; (39)

MAX = Z0 + (SI1 + SI2 + SI3 + SI4 + SI5 + SI6 + SI7 + SI8 + SI9 + SO1 + SO2 + SO3) \* 0.001;

!RESTRICAO OUTPUTS;

0.927752109\*L1 + 0.897605816\*L2 + 0.808170421\*L3 + 1.053694945\*L4 + 0.841768231\*L5 + 0.921617068\*L6 + 0.79316252\*L7 + 0.89218231\*L8 + 0.958526973\*L9 + 0.962295988\*L10 + 1.06010575\*L11 + 1.009446468\*L12 + 0.963045013\*L13 + 0.922645834\*L14 + 0.832796066\*L15 + 1.025415623\*L16 + 1.047004657\*L17 + 0.979563453\*L18 + 1.135499448\*L19 + 0.917464109\*L20 + 1.02121557\*L21 + 0.95097449\*L22 + 0.909466391\*L23 + 0.98631176\*L24 + 1.138726575\*L25 + 0.901111217\*L26 + 1.161227435\*L27 + 0.870249155\*L28 + 1.303120568\*L29 + 0.898603046\*L30 + 0.904855638\*L31 + 1.014422139\*L32 + 0.839490473\*L33 + 0.923161597\*L34 + 0.910401677\*L35 + 1.227450788\*L36 + 0.907196243\*L37 + 1.012508887\*L38 + 1.093941674\*L39 + 0.946871817\*L40 + 0.921420631\*L41 + 1.098221816\*L42 + 0.974828452\*L43 + 0.932653394\*L44 + 0.87647653\*L45 + 0.962405601\*L46 + 0.797437443\*L47 + 0.840913174\*L48 + 0.816690505\*L49 + 1.086331373\*L50 + 0.899510191\*L51 + 0.842794137\*L52 + 0.981196469\*L53 + 0.960572721\*L54 + 0.948911814\*L55 + 1.007215557\*L56 + 1.134298605\*L57 + 1.127287222\*L58 + 0.910083474\*L59 + 0.910252702\*L60 + 0.990097406\*L61 + 0.846175903\*L62 + 1.019533523\*L63 + 0.854534779\*L64 + 0.846841765\*L65 + 1.01606634\*L66 + 1.075702005\*L67 + 1.004635603\*L68 + 0.974861669\*L69 + 1.390524201\*L70 + 1.310903119\*L71 + 1.103911273\*L72 + 1.218713799\*L73 + 1.262119939\*L74 + 1.521589116\*L75 + 1.171875254\*L76 + 1.322770596\*L77 + 0.959998872\*L78 + 0.838250163\*L79 + 1.120867674\*L80 + 0.871629472\*L81 + 1.12855152\*L82 + 1.141349467\*L83 + 1.107924788\*L84 = (0.927752109\*Z0) + SO1;

1.49280677\*L1 + 0.023695346\*L2 + 0.260648801\*L3 + 1.540197461\*L4 + 0.900423131\*L5 + 1.326939351\*L6 + 0.379125529\*L7 + 0.544992948\*L8 + 1.70606488\*L9 + 0.63977433\*L10 + 2.535401975\*L11 + 1.208462623\*L12 + 1.137376587\*L13 + 1.232157969\*L14 + 0.42651622\*L15 + 0.758251058\*L16 + 0.900423131\*L17 + 2.179971791\*L18 + 0.284344147\*L19 + 0.781946403\*L20 + 0.687165021\*L21 + 0.544992948\*L22 + 0.521297602\*L23 + 0.521297602\*L24 + 0.236953456\*L25 + 2.748660085\*L26 + 0.497602257\*L27 + 0.450211566\*L28 + 0.189562764\*L29 + 0.023695346\*L30 + 3.056699577\*L31 + 2.416925247\*L32 + 1.161071932\*L33 + 0.663469676\*L34 + 0.047390691\*L35 + 0.308039492\*L36 + 0.616078984\*L37 + 2.156276446\*L38 + 1.326939351\*L39 + 0.616078984\*L40 + 1.824541608\*L41 + 0.42651622\*L42 + 1.658674189\*L43 + 0.142172073\*L44 + 1.658674189\*L45 + 0.876727786\*L46 + 0.521297602\*L47 + 0.900423131\*L48 + 0.42651622\*L49 + 0.900423131\*L50 + 0.710860367\*L51 + 1.374330042\*L52 + 1.208462623\*L53 + 0.734555712\*L54 + 0.710860367\*L55 + 0.63977433\*L56 + 3.056699577\*L57 + 0.616078984\*L58 + 0.781946403\*L59 + 0.402820874\*L60 + 0.616078984\*L61 + 1.729760226\*L62 + 1.729760226\*L63 + 0.497602257\*L64 + 1.137376587\*L65 + 0.663469676\*L66 + 0.402820874\*L67 + 0.829337094\*L68 + 0.781946403\*L69 + 0.521297602\*L70 + 1.587588152\*L71 + 0.497602257\*L72 + 1.208462623\*L73 + 0.521297602\*L74 + 1.91932299\*L75 + 1.089985896\*L76 + 1.06629055\*L77 + 1.49280677\*L78 + 0.687165021\*L79 + 2.724964739\*L80 + 0.260648801\*L81 + 1.018899859\*L82 + 1.303244006\*L83 + 1.089985896\*L84 = (1.49280677\*Z0) + SO2;

0\*L1 + 0\*L2 + 0\*L3 + 0\*L4 + 0\*L5 + 0\*L6 + 0\*L7 + 0\*L8 + 0.142101108\*L9 + 0\*L10 + 0\*L11 + 0\*L12 + 1.840012771\*L13 + 0\*L14 + 0\*L15 + 0\*L16 + 0.59644232\*L17 + 0\*L18 + 0\*L19 + 0\*L20 + 0\*L21 + 0\*L22 + 0\*L23 + 0\*L24 + 0\*L25 + 0.086367946\*L26 + 0\*L27 + 0\*L28 + 0\*L29 + 0\*L30 + 0\*L31 + 0\*L32 + 0\*L33 + 0\*L34 + 0\*L35 + 0\*L36 + 0\*L37 + 0\*L38 + 0\*L39 + 0\*L40 + 0\*L41 + 0\*L42 + 0\*L43 + 0\*L44 + 0\*L45 + 0\*L46 + 0\*L47 + 0\*L48 + 0\*L49 + 0\*L50 + 0\*L51 + 0\*L52 + 0.637412\*L53 + 2.111216467\*L54 + 0\*L55 + 1.477851527\*L56 + 1.859712492\*L57 +

$$0*L58 + 0*L59 + 0*L60 + 0*L61 + 0*L62 + 0.240954053*L63 + 0*L64 + 0.225434979*L65 + 0*L66 + 1.209151249*L67 + 0*L68 + 3.677602878*L69 + 3.013095346*L70 + 10.67146277*L71 + 3.086651923*L72 + 5.6028437*L73 + 10.68803336*L74 + 13.81469905*L75 + 13.33530089*L76 + 6.478833341*L77 + 0.145521485*L78 + 0*L79 + 3.059298341*L80 + 0*L81 + 0*L82 + 0*L83 + 0*L84 = (0*Z0) + SO3;$$

!RESTRICAO INPUTS;

$$0.072382743*L1 + 0*L2 + 0*L3 + 0.075019691*L4 + 6.545468063*L5 + 0*L6 + 0*L7 + 0.915687242*L8 + 3.300706117*L9 + 6.545468063*L10 + 0*L11 + 4.043322377*L12 + 2.716498603*L13 + 0.351018792*L14 + 0.560639663*L15 + 6.500013424*L16 + 0.792500618*L17 + 0.175445536*L18 + 0.607039377*L19 + 1.258299857*L20 + 0*L21 + 1.173670136*L22 + 0.537064046*L23 + 0.520662232*L24 + 0*L25 + 0.56104012*L26 + 0.153409408*L27 + 0*L28 + 0*L29 + 0*L30 + 0*L31 + 0*L32 + 0*L33 + 0*L34 + 0*L35 + 0.618469423*L36 + 0*L37 + 0.045986895*L38 + 0*L39 + 0*L40 + 0*L41 + 0*L42 + 0*L43 + 0*L44 + 0*L45 + 0.105572066*L46 + 0*L47 + 0.020454588*L48 + 2.945460629*L49 + 0*L50 + 0*L51 + 0*L52 + 1.275634351*L53 + 6.545468063*L54 + 0.601350423*L55 + 2.850914979*L56 + 0.607688869*L57 + 0*L58 + 1.053056376*L59 + 0*L60 + 2.629620357*L61 + 0*L62 + 0.023715464*L63 + 6.545468063*L64 + 0.33282041*L65 + 0.404041238*L66 + 1.666119143*L67 + 0.198347517*L68 + 0.663595841*L69 + 0.93204076*L70 + 1.567867931*L71 + 1.436136453*L72 + 0.383617176*L73 + 2.197407136*L74 + 0.379447424*L75 + 1.840912893*L76 + 2.513159658*L77 + 1.675754406*L78 + 0*L79 + 1.935680588*L80 + 1.667749397*L81 + 0*L82 + 0.045933109*L83 + 0.885152265*L84 = 0.072382743 - SI1;$$

$$0.934471056*L1 + 0.953824907*L2 + 0.935719804*L3 + 1.054615194*L4 + 0.948676786*L5 + 0.98682978*L6 + 0.814736494*L7 + 0.896819167*L8 + 0.942309533*L9 + 0.973887776*L10 + 0.995754904*L11 + 0.958952475*L12 + 1.023288186*L13 + 0.965016451*L14 + 0.914736964*L15 + 0.996090328*L16 + 1.029824065*L17 + 0.978819119*L18 + 1.032052246*L19 + 0.89731379*L20 + 0.909282395*L21 + 1.009771413*L22 + 0.954678477*L23 + 0.943428934*L24 + 1.039782008*L25 + 0.972143142*L26 + 0.986911612*L27 + 0.969259163*L28 + 1.146993382*L29 + 0.937086426*L30 + 0.934869667*L31 + 0.985082986*L32 + 0.929371099*L33 + 0.905830898*L34 + 0.899886741*L35 + 1.003306961*L36 + 0.979252135*L37 + 0.925891437*L38 + 0.955100949*L39 + 0.922523022*L40 + 1.000565806*L41 + 1.005146188*L42 + 0.918083843*L43 + 0.911669853*L44 + 0.983059793*L45 + 0.93457913*L46 + 0.905127503*L47 + 0.93035392*L48 + 0.903202402*L49 + 1.103703607*L50 + 0.917662445*L51 + 0.876675138*L52 + 1.049520322*L53 + 1.008818746*L54 + 1.038715389*L55 + 1.02374183*L56 + 1.205042218*L57 + 1.00386514*L58 + 1.016813782*L59 + 1.018219097*L60 + 1.029270563*L61 + 1.025383575*L62 + 1.024337996*L63 + 0.937588716*L64 + 0.88952692*L65 + 0.979227401*L66 + 1.059014306*L67 + 1.000159054*L68 + 1.051772719*L69 + 1.271100125*L70 + 1.273981496*L71 + 1.102366047*L72 + 1.161756039*L73 + 1.226893473*L74 + 1.33205743*L75 + 0.993429633*L76 + 1.238043377*L77 + 1.028161894*L78 + 0.88463165*L79 + 1.141772872*L80 + 0.935927601*L81 + 0.969228214*L82 + 1.041937352*L83 + 1.103673518*L84 = 0.934471056 - SI2;$$

$$1.009893143*L1 + 1.061682535*L2 + 1.121402178*L3 + 1.958373866*L4 + 0.450061075*L5 + 0.909245009*L6 + 0.941036793*L7 + 0.298598213*L8 + 0.421278099*L9 + 0.470518396*L10 + 0.554539538*L11 + 1.72523412*L12 + 0.985848068*L13 + 0.787606881*L14 + 0.621084283*L15 + 0.646962795*L16 + 0.67092438*L17 + 1.085227914*L18 + 1.035140472*L19 + 1.388603072*L20 + 1.24600242*L21 + 0.35694499*L22 + 0.705777594*L23 + 1.848465128*L24 + 0.646962795*L25 + 0.517570236*L26 + 0.517570236*L27 + 1.035140472*L28 + 1.330894892*L29 + 1.971696137*L30 + 1.168706984*L31 + 1.06558578*L32 + 1.21305524*L33 + 1.194392852*L34 + 1.132184891*L35 + 0.313678931*L36 + 0.828112377*L37 + 0.739386051*L38 + 0.554539538*L39 + 0.207028094*L40 + 1.380187296*L41 + 0.267708743*L42 + 1.470369988*L43 + 1.492991065*L44 + 0.57507804*L45 + 0.43130853*L46 + 0.72459833*L47 + 0.267708743*L48 +$$

$$0.295754421*L49 + 0.331775792*L50 + 0.57507804*L51 + 1.109079077*L52 + 0.562576343*L53 + 1.237667955*L54 + 1.027529145*L55 + 1.770635017*L56 + 2.137790105*L57 + 0.931626425*L58 + 1.225824243*L59 + 0.417395352*L60 + 0.621084283*L61 + 0.352888797*L62 + 0.7611327*L63 + 1.132184891*L64 + 0.603831942*L65 + 0.333916281*L66 + 0.779900355*L67 + 0.548938129*L68 + 1.58146461*L69 + 2.057009912*L70 + 2.373979181*L71 + 1.848465128*L72 + 2.00192261*L73 + 1.9169268*L74 + 2.492004839*L75 + 1.4376951*L76 + 2.211436462*L77 + 0.928972218*L78 + 0.378709929*L79 + 1.620430178*L80 + 0.646962795*L81 + 0.880970614*L82 + 1.121402178*L83 + 0.398130951*L84 = 1.009893143 - SI3;$$

$$1.371937611*L1 + 0.865376031*L2 + 0.524994792*L3 + 0.547291868*L4 + 1.467376749*L5 + 1.216204152*L6 + 1.022717128*L7 + 1.471139253*L8 + 1.726727058*L9 + 1.431803979*L10 + 1.446414224*L11 + 0.674993304*L12 + 1.071417944*L13 + 1.222813957*L14 + 1.214987948*L15 + 1.124988841*L16 + 0.916657574*L17 + 1.088698878*L18 + 1.186351868*L19 + 0.878040071*L20 + 0.583327547*L21 + 1.784465058*L22 + 1.431803979*L23 + 0.642850766*L24 + 1.265612446*L25 + 0.899991073*L26 + 1.124988841*L27 + 1.349986609*L28 + 0.964276149*L29 + 0*L30 + 0.68950929*L31 + 0.992637212*L32 + 0.703118025*L33 + 0.63460909*L34 + 0.773429828*L35 + 0.681811419*L36 + 1.079989287*L37 + 1.542841839*L38 + 1.071417944*L39 + 0.809991965*L40 + 1.049989585*L41 + 1.241366997*L42 + 0.56249442*L43 + 0.692300825*L44 + 1.166655094*L45 + 0.937490701*L46 + 1.349986609*L47 + 1.784465058*L48 + 0.835705996*L49 + 1.961519004*L50 + 0.749992561*L51 + 1.205345187*L52 + 0.684775816*L53 + 1.027163724*L54 + 0.860285584*L55 + 0.710519268*L56 + 0.332605396*L57 + 1.349986609*L58 + 0.947359024*L59 + 1.524178429*L60 + 1.079989287*L61 + 1.534075692*L62 + 1.164694329*L63 + 0.937490701*L64 + 1.424985865*L65 + 0.798379177*L66 + 1.325329319*L67 + 1.363622837*L68 + 0.24999752*L69 + 0.288458677*L70 + 0.167353712*L71 + 0.321425383*L72 + 0.339619273*L73 + 0.24999752*L74 + 0.083332507*L75 + 0.541661294*L76 + 0.245452111*L77 + 1.269218179*L78 + 1.646325133*L79 + 0.820085323*L80 + 1.546859656*L81 + 1.101052908*L82 + 1.124988841*L83 + 1.903827269*L84 = 1.371937611 - SI4;$$

$$1.306242705*L1 + 1.289496004*L2 + 1.306242705*L3 + 1.129723421*L4 + 0.738311094*L5 + 0.494253997*L6 + 0.831245358*L7 + 0.25120052*L8 + 1.275864968*L9 + 0.77187069*L10 + 1.026333554*L11 + 1.262701282*L12 + 1.306242705*L13 + 0.965483739*L14 + 0.731495915*L15 + 1.119636605*L16 + 0.435414235*L17 + 0.210684307*L18 + 0.474997347*L19 + 1.05136608*L20 + 1.282053026*L21 + 0.585557075*L22 + 1.068744032*L23 + 1.212939655*L24 + 0.816401691*L25 + 0.496372228*L26 + 0.587809217*L27 + 0.609579929*L28 + 0.634460743*L29 + 1.306242705*L30 + 1.264105844*L31 + 1.306242705*L32 + 1.306242705*L33 + 1.306242705*L34 + 1.306242705*L35 + 0.633329797*L36 + 0.992744456*L37 + 0.597139522*L38 + 0.68422237*L39 + 0.88824504*L40 + 1.306242705*L41 + 0.540514223*L42 + 1.306242705*L43 + 1.306242705*L44 + 1.257863346*L45 + 0.979682029*L46 + 1.097243873*L47 + 0.855814186*L48 + 1.306242705*L49 + 1.038295484*L50 + 0.507983274*L51 + 1.306242705*L52 + 0.51113845*L53 + 1.05067348*L54 + 0.74916861*L55 + 1.306242705*L56 + 0.874614681*L57 + 1.201743289*L58 + 1.099993857*L59 + 1.011284675*L60 + 1.149493581*L61 + 1.098431366*L62 + 0.445659276*L63 + 1.306242705*L64 + 1.306242705*L65 + 0.758463506*L66 + 1.091517877*L67 + 1.147910256*L68 + 1.306242705*L69 + 1.306242705*L70 + 1.306242705*L71 + 1.306242705*L72 + 1.306242705*L73 + 1.306242705*L74 + 1.306242705*L75 + 1.306242705*L76 + 1.306242705*L77 + 0.452160936*L78 + 1.019506502*L79 + 0.817927675*L80 + 1.306242705*L81 + 0.83377194*L82 + 0.827287047*L83 + 1.205762497*L84 = 1.306242705 - SI5;$$

$$1.045029011*L1 + 0.955056276*L2 + 0.913818238*L3 + 0.93502726*L4 + 1.102015628*L5 + 1.039377216*L6 + 1.165218396*L7 + 1.005032206*L8 + 1.111356301*L9 + 0.98737718*L10 + 0.996288567*L11 + 0.988631656*L12 + 1.030158294*L13 + 0.991128137*L14 + 1.043345276*L15 + 1.027812432*L16 + 1.121752573*L17 + 0.96699452*L18 + 1.066802487*L19 + 0.989854851*L20 + 1.070693391*L21 + 0.976710255*L22 + 0.936198083*L23 + 1.068890108*L24$$

$$\begin{aligned}
& + 1.093950025*L25 + 1.128519296*L26 + 1.18037678*L27 + 0.953360506*L28 + \\
& 0.970596335*L29 + 0.955854104*L30 + 0.939220288*L31 + 0.877660187*L32 + 0.99288248*L33 \\
& + 1.055784055*L34 + 1.003291733*L35 + 0.877233349*L36 + 1.022265837*L37 + \\
& 1.061366489*L38 + 0.967559805*L39 + 1.054009011*L40 + 1.078934004*L41 + 0.970207298*L42 \\
& + 0.962324633*L43 + 0.975383415*L44 + 1.036864571*L45 + 1.035258425*L46 + \\
& 1.001359559*L47 + 0.96858665*L48 + 1.119912729*L49 + 1.027787762*L50 + 1.06305538*L51 + \\
& 1.103818042*L52 + 1.045058835*L53 + 0.965255099*L54 + 0.942710455*L55 + 1.00216051*L56 \\
& + 0.991879244*L57 + 0.951302012*L58 + 0.942489739*L59 + 1.073107318*L60 + \\
& 1.016379141*L61 + 0.926267877*L62 + 0.943415528*L63 + 1.003886313*L64 + 0.997971716*L65 \\
& + 1.123829544*L66 + 1.086422748*L67 + 0.962256241*L68 + 0.925140282*L69 + \\
& 0.932632272*L70 + 0.989180121*L71 + 0.890100291*L72 + 0.902044538*L73 + 0.840874155*L74 \\
& + 0.879799714*L75 + 0.940020254*L76 + 0.954271992*L77 + 0.949020792*L78 + \\
& 0.962518237*L79 + 0.959776934*L80 + 0.904985073*L81 + 0.925259737*L82 + 0.967423013*L83 \\
& + 1.090569181*L84 = 1.045029011 - SI6;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 1.054594461*L1 + 0.899056117*L2 + 0.88100567*L3 + 0.876962*L4 + 1.133287421*L5 + \\
& 0.998104308*L6 + 1.197613801*L7 + 0.999832955*L8 + 1.122496022*L9 + 1.019651422*L10 + \\
& 0.986748552*L11 + 1.060967414*L12 + 1.065771677*L13 + 1.032143607*L14 + 1.063655871*L15 \\
& + 1.078413853*L16 + 1.158481374*L17 + 0.929590576*L18 + 1.107177824*L19 + \\
& 0.99638135*L20 + 1.091359606*L21 + 0.945147811*L22 + 1.005112224*L23 + 1.097583639*L24 \\
& + 1.060890482*L25 + 1.154057239*L26 + 1.210789271*L27 + 0.875060225*L28 + \\
& 1.043670566*L29 + 0.914992397*L30 + 0.912840139*L31 + 0.772206794*L32 + 0.944328837*L33 \\
& + 1.08055862*L34 + 1.01831503*L35 + 0.956519579*L36 + 1.005486497*L37 + 1.062854809*L38 \\
& + 0.977412146*L39 + 1.061813665*L40 + 1.079923745*L41 + 1.036528724*L42 + \\
& 0.88909422*L43 + 0.88213159*L44 + 1.03611842*L45 + 1.058311002*L46 + 0.955083518*L47 + \\
& 0.976300933*L48 + 1.169613316*L49 + 1.087956513*L50 + 1.025748004*L51 + 1.15175968*L52 \\
& + 1.05598276*L53 + 0.954021125*L54 + 0.916179154*L55 + 0.992304995*L56 + \\
& 1.112093859*L57 + 0.997696447*L58 + 0.951612687*L59 + 1.034348987*L60 + 1.023963185*L61 \\
& + 0.939968301*L62 + 0.980103657*L63 + 1.016467823*L64 + 0.92729933*L65 + \\
& 1.163864608*L66 + 1.114457044*L67 + 0.903933272*L68 + 0.859596573*L69 + 1.006226892*L70 \\
& + 0.99129824*L71 + 0.882870136*L72 + 0.921071282*L73 + 0.759621122*L74 + \\
& 0.900667042*L75 + 0.955232837*L76 + 0.970661235*L77 + 0.972950362*L78 + 0.832794483*L79 \\
& + 0.968342005*L80 + 0.666400951*L81 + 0.927527548*L82 + 0.982732049*L83 + \\
& 1.116204497*L84 = 1.054594461 - SI7;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 1.700796469*L1 + 2.087707514*L2 + 1.837827464*L3 + 1.160733135*L4 + 0.386911045*L5 + \\
& 1.233278956*L6 + 0.314365224*L7 + 0.403032339*L8 + 1.587947414*L9 + 0.612609155*L10 + \\
& 0.814125324*L11 + 1.080126667*L12 + 0.838307264*L13 + 1.04788408*L14 + 1.346128011*L15 \\
& + 0.515881393*L16 + 0.677094329*L17 + 1.29776413*L18 + 1.201036369*L19 + \\
& 2.087707514*L20 + 0.701276269*L21 + 0.515881393*L22 + 0.789943384*L23 + 0.918913732*L24 \\
& + 1.346128011*L25 + 0.975338259*L26 + 0.483638806*L27 + 0.290183284*L28 + \\
& 1.289703483*L29 + 2.055464927*L30 + 4.183475674*L31 + 2.54716438*L32 + 1.862009404*L33 \\
& + 1.604068707*L34 + 3.143652241*L35 + 0.370789751*L36 + 0.926974379*L37 + \\
& 0.854428558*L38 + 0.902792438*L39 + 0.080606468*L40 + 0.967277613*L41 + 0.54812398*L42 \\
& + 2.265041743*L43 + 0.967277613*L44 + 1.007580846*L45 + 0.233758756*L46 + \\
& 1.563765474*L47 + 0.717397563*L48 + 0.507820747*L49 + 1.209097016*L50 + 0*L51 + \\
& 0.870549851*L52 + 0.862489204*L53 + 0.491699453*L54 + 0.830246617*L55 + 0.419153632*L56 \\
& + 1.894251991*L57 + 0.475578159*L58 + 1.281642837*L59 + 0.451396219*L60 + \\
& 1.02370214*L61 + 0.628730448*L62 + 1.563765474*L63 + 0.943095672*L64 + 0.52394204*L65 + \\
& 0.612609155*L66 + 0.403032339*L67 + 0.580366568*L68 + 0.507820747*L69 + 0.475578159*L70 \\
& + 0.765761443*L71 + 0.403032339*L72 + 0.588427214*L73 + 0.507820747*L74 + \\
& 0.717397563*L75 + 0.781882737*L76 + 0.717397563*L77 + 0.943095672*L78 + 0.02418194*L79 \\
& + 1.902312638*L80 + 0.532002687*L81 + 1.668553882*L82 + 0.677094329*L83 + \\
& 0.870549851*L84 = 1.700796469 - SI8;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0.921864092*L1 + 1.037097104*L2 + 1.012001914*L3 + 0.926217339*L4 + 0.973078764*L5 + \\
&1.044779304*L6 + 1.095993976*L7 + 0.930314513*L8 + 1.015330868*L9 + 0.964628343*L10 + \\
&1.044779304*L11 + 1.095993976*L12 + 1.008160814*L13 + 0.921864092*L14 + 0.921864092*L15 \\
&+ 0.921864092*L16 + 1.039657837*L17 + 0.921864092*L18 + 1.39816054*L19 + \\
&1.080629575*L20 + 1.028390609*L21 + 0.921864092*L22 + 0.921864092*L23 + 1.126722779*L24 \\
&+ 0.947471428*L25 + 1.078068841*L26 + 0.929546293*L27 + 0.932107026*L28 + \\
&1.121601312*L29 + 0.923144459*L30 + 1.037097104*L31 + 1.037097104*L32 + 1.037097104*L33 \\
&+ 1.037097104*L34 + 1.037097104*L35 + 1.065265173*L36 + 0.942349961*L37 + \\
&0.921864092*L38 + 1.136965714*L39 + 0.921864092*L40 + 0.921864092*L41 + 1.003807567*L42 \\
&+ 1.024293436*L43 + 1.010721548*L44 + 0.921864092*L45 + 0.947215355*L46 + \\
&0.960787243*L47 + 1.115455551*L48 + 0.937228494*L49 + 0.884989528*L50 + 0.921864092*L51 \\
&+ 0.973078764*L52 + 0.925193046*L53 + 1.001246833*L54 + 1.136965714*L55 + \\
&0.93466776*L56 + 0.979480598*L57 + 0.958226509*L58 + 0.922632312*L59 + 1.106236911*L60 \\
&+ 0.921864092*L61 + 0.9986861*L62 + 1.106236911*L63 + 0.921864092*L64 + 1.029414903*L65 \\
&+ 0.933387393*L66 + 0.9986861*L67 + 1.085751042*L68 + 1.143111474*L69 + 0.952592895*L70 \\
&+ 0.921864092*L71 + 0.991003899*L72 + 0.921864092*L73 + 1.007648667*L74 + \\
&0.929546293*L75 + 1.0025272*L76 + 1.006368301*L77 + 1.075508107*L78 + 1.095993976*L79 + \\
&1.079093134*L80 + 0.987162799*L81 + 0.921864092*L82 + 0.929034146*L83 + 1.07038664*L84 \\
&= 0.921864092 - SI9;
\end{aligned}$$

!RESTRICOES DO MODELO;

$$\begin{aligned}
&L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11 + L12 + L13 + L14 + L15 + L16 + L17 + \\
&L18 + L19 + L20 + L21 + L22 + L23 + L24 + L25 + L26 + L27 + L28 + L29 + L30 + L31 + L32 + \\
&L33 + L34 + L35 + L36 + L37 + L38 + L39 + L40 + L41 + L42 + L43 + L44 + L45 + L46 + L47 + \\
&L48 + L49 + L50 + L51 + L52 + L53 + L54 + L55 + L56 + L57 + L58 + L59 + L60 + L61 + L62 + \\
&L63 + L64 + L65 + L66 + L67 + L68 + L69 + L70 + L71 + L72 + L73 + L74 + L75 + L76 + L77 + \\
&L78 + L79 + L80 + L81 + L82 + L83 + L84 = 1;
\end{aligned}$$

BCC Básico com Orientação a *Outputs* – Modelo dos Multiplicadores com Dados Normalizados:

!OBJETIVO; (40)

MAX = W0;

!OUTPUTS DMU\_0;

$$W0 = 0.927752109*U1 + 1.49280677*U2 + 0*U3 + M;$$

!INPUTS DMU\_0;

$$\begin{aligned}
&0.072382743*V1 + 0.934471056*V2 + 1.009893143*V3 + 1.371937611*V4 + 1.306242705*V5 + \\
&1.045029011*V6 + 1.054594461*V7 + 1.700796469*V8 + 0.921864092*V9 = 1;
\end{aligned}$$

!DEMAIS DMUS;

$$\begin{aligned}
&0.927752109*U1 + 1.49280677*U2 + 0*U3 - 0.072382743*V1 - 0.934471056*V2 - 1.009893143*V3 \\
&- 1.371937611*V4 - 1.306242705*V5 - 1.045029011*V6 - 1.054594461*V7 - 1.700796469*V8 - \\
&0.921864092*V9 + M \leq 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0.897605816*U1 + 0.023695346*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.953824907*V2 - 1.061682535*V3 - \\
&0.865376031*V4 - 1.289496004*V5 - 0.955056276*V6 - 0.899056117*V7 - 2.087707514*V8 - \\
&1.037097104*V9 + M \leq 0;
\end{aligned}$$



$$0.808170421*U1 + 0.260648801*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.935719804*V2 - 1.121402178*V3 - 0.524994792*V4 - 1.306242705*V5 - 0.913818238*V6 - 0.88100567*V7 - 1.837827464*V8 - 1.012001914*V9 + M \leq 0;$$

$$1.053694945*U1 + 1.540197461*U2 + 0*U3 - 0.075019691*V1 - 1.054615194*V2 - 1.958373866*V3 - 0.547291868*V4 - 1.129723421*V5 - 0.93502726*V6 - 0.876962*V7 - 1.160733135*V8 - 0.926217339*V9 + M \leq 0;$$

$$0.841768231*U1 + 0.900423131*U2 + 0*U3 - 6.545468063*V1 - 0.948676786*V2 - 0.450061075*V3 - 1.467376749*V4 - 0.738311094*V5 - 1.102015628*V6 - 1.133287421*V7 - 0.386911045*V8 - 0.973078764*V9 + M \leq 0;$$

$$0.921617068*U1 + 1.326939351*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.98682978*V2 - 0.909245009*V3 - 1.216204152*V4 - 0.494253997*V5 - 1.039377216*V6 - 0.998104308*V7 - 1.233278956*V8 - 1.044779304*V9 + M \leq 0;$$

$$0.79316252*U1 + 0.379125529*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.814736494*V2 - 0.941036793*V3 - 1.022717128*V4 - 0.831245358*V5 - 1.165218396*V6 - 1.197613801*V7 - 0.314365224*V8 - 1.095993976*V9 + M \leq 0;$$

$$0.89218231*U1 + 0.544992948*U2 + 0*U3 - 0.915687242*V1 - 0.896819167*V2 - 0.298598213*V3 - 1.471139253*V4 - 0.25120052*V5 - 1.005032206*V6 - 0.999832955*V7 - 0.403032339*V8 - 0.930314513*V9 + M \leq 0;$$

$$0.958526973*U1 + 1.70606488*U2 + 0.142101108*U3 - 3.300706117*V1 - 0.942309533*V2 - 0.421278099*V3 - 1.726727058*V4 - 1.275864968*V5 - 1.111356301*V6 - 1.122496022*V7 - 1.587947414*V8 - 1.015330868*V9 + M \leq 0;$$

$$0.962295988*U1 + 0.63977433*U2 + 0*U3 - 6.545468063*V1 - 0.973887776*V2 - 0.470518396*V3 - 1.431803979*V4 - 0.77187069*V5 - 0.98737718*V6 - 1.019651422*V7 - 0.612609155*V8 - 0.964628343*V9 + M \leq 0;$$

$$1.06010575*U1 + 2.535401975*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.995754904*V2 - 0.554539538*V3 - 1.446414224*V4 - 1.026333554*V5 - 0.996288567*V6 - 0.986748552*V7 - 0.814125324*V8 - 1.044779304*V9 + M \leq 0;$$

$$1.009446468*U1 + 1.208462623*U2 + 0*U3 - 4.043322377*V1 - 0.958952475*V2 - 1.72523412*V3 - 0.674993304*V4 - 1.262701282*V5 - 0.988631656*V6 - 1.060967414*V7 - 1.080126667*V8 - 1.095993976*V9 + M \leq 0;$$

$$0.963045013*U1 + 1.137376587*U2 + 1.840012771*U3 - 2.716498603*V1 - 1.023288186*V2 - 0.985848068*V3 - 1.071417944*V4 - 1.306242705*V5 - 1.030158294*V6 - 1.065771677*V7 - 0.838307264*V8 - 1.008160814*V9 + M \leq 0;$$

$$0.922645834*U1 + 1.232157969*U2 + 0*U3 - 0.351018792*V1 - 0.965016451*V2 - 0.787606881*V3 - 1.222813957*V4 - 0.965483739*V5 - 0.991128137*V6 - 1.032143607*V7 - 1.04788408*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.832796066*U1 + 0.42651622*U2 + 0*U3 - 0.560639663*V1 - 0.914736964*V2 - 0.621084283*V3 - 1.214987948*V4 - 0.731495915*V5 - 1.043345276*V6 - 1.063655871*V7 - 1.346128011*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.025415623*U1 + 0.758251058*U2 + 0*U3 - 6.500013424*V1 - 0.996090328*V2 - 0.646962795*V3 - 1.124988841*V4 - 1.119636605*V5 - 1.027812432*V6 - 1.078413853*V7 - 0.515881393*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.047004657*U1 + 0.900423131*U2 + 0.59644232*U3 - 0.792500618*V1 - 1.029824065*V2 - 0.67092438*V3 - 0.916657574*V4 - 0.435414235*V5 - 1.121752573*V6 - 1.158481374*V7 - 0.677094329*V8 - 1.039657837*V9 + M \leq 0;$$

$$0.979563453*U1 + 2.179971791*U2 + 0*U3 - 0.175445536*V1 - 0.978819119*V2 - 1.085227914*V3 - 1.088698878*V4 - 0.210684307*V5 - 0.96699452*V6 - 0.929590576*V7 - 1.29776413*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.135499448*U1 + 0.284344147*U2 + 0*U3 - 0.607039377*V1 - 1.032052246*V2 - 1.035140472*V3 - 1.186351868*V4 - 0.474997347*V5 - 1.066802487*V6 - 1.107177824*V7 - 1.201036369*V8 - 1.39816054*V9 + M \leq 0;$$

$$0.917464109*U1 + 0.781946403*U2 + 0*U3 - 1.258299857*V1 - 0.89731379*V2 - 1.388603072*V3 - 0.878040071*V4 - 1.05136608*V5 - 0.989854851*V6 - 0.99638135*V7 - 2.087707514*V8 - 1.080629575*V9 + M \leq 0;$$

$$1.02121557*U1 + 0.687165021*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.909282395*V2 - 1.24600242*V3 - 0.583327547*V4 - 1.282053026*V5 - 1.070693391*V6 - 1.091359606*V7 - 0.701276269*V8 - 1.028390609*V9 + M \leq 0;$$

$$0.95097449*U1 + 0.544992948*U2 + 0*U3 - 1.173670136*V1 - 1.009771413*V2 - 0.35694499*V3 - 1.784465058*V4 - 0.585557075*V5 - 0.976710255*V6 - 0.945147811*V7 - 0.515881393*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.909466391*U1 + 0.521297602*U2 + 0*U3 - 0.537064046*V1 - 0.954678477*V2 - 0.705777594*V3 - 1.431803979*V4 - 1.068744032*V5 - 0.936198083*V6 - 1.005112224*V7 - 0.789943384*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.98631176*U1 + 0.521297602*U2 + 0*U3 - 0.520662232*V1 - 0.943428934*V2 - 1.848465128*V3 - 0.642850766*V4 - 1.212939655*V5 - 1.068890108*V6 - 1.097583639*V7 - 0.918913732*V8 - 1.126722779*V9 + M \leq 0;$$

$$1.138726575*U1 + 0.236953456*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.039782008*V2 - 0.646962795*V3 - 1.265612446*V4 - 0.816401691*V5 - 1.093950025*V6 - 1.060890482*V7 - 1.346128011*V8 - 0.947471428*V9 + M \leq 0;$$

$$0.901111217*U1 + 2.748660085*U2 + 0.086367946*U3 - 0.56104012*V1 - 0.972143142*V2 - 0.517570236*V3 - 0.899991073*V4 - 0.496372228*V5 - 1.128519296*V6 - 1.154057239*V7 - 0.975338259*V8 - 1.078068841*V9 + M \leq 0;$$

$$1.161227435*U1 + 0.497602257*U2 + 0*U3 - 0.153409408*V1 - 0.986911612*V2 - 0.517570236*V3 - 1.124988841*V4 - 0.587809217*V5 - 1.18037678*V6 - 1.210789271*V7 - 0.483638806*V8 - 0.929546293*V9 + M \leq 0;$$

$$0.870249155*U1 + 0.450211566*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.969259163*V2 - 1.035140472*V3 - 1.349986609*V4 - 0.609579929*V5 - 0.953360506*V6 - 0.875060225*V7 - 0.290183284*V8 - 0.932107026*V9 + M \leq 0;$$

$$1.303120568*U1 + 0.189562764*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.146993382*V2 - 1.330894892*V3 - 0.964276149*V4 - 0.634460743*V5 - 0.970596335*V6 - 1.043670566*V7 - 1.289703483*V8 - 1.121601312*V9 + M \leq 0;$$

$$0.898603046*U1 + 0.023695346*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.937086426*V2 - 1.971696137*V3 - 0*V4 - 1.306242705*V5 - 0.955854104*V6 - 0.914992397*V7 - 2.055464927*V8 - 0.923144459*V9 + M \leq 0;$$

$$0.904855638*U1 + 3.056699577*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.934869667*V2 - 1.168706984*V3 - 0.68950929*V4 - 1.264105844*V5 - 0.939220288*V6 - 0.912840139*V7 - 4.183475674*V8 - 1.037097104*V9 + M \leq 0;$$

$$1.014422139*U1 + 2.416925247*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.985082986*V2 - 1.06558578*V3 - 0.992637212*V4 - 1.306242705*V5 - 0.877660187*V6 - 0.772206794*V7 - 2.54716438*V8 - 1.037097104*V9 + M \leq 0;$$

$$0.839490473*U1 + 1.161071932*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.929371099*V2 - 1.21305524*V3 - 0.703118025*V4 - 1.306242705*V5 - 0.99288248*V6 - 0.944328837*V7 - 1.862009404*V8 - 1.037097104*V9 + M \leq 0;$$

$$0.923161597*U1 + 0.663469676*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.905830898*V2 - 1.194392852*V3 - 0.63460909*V4 - 1.306242705*V5 - 1.055784055*V6 - 1.08055862*V7 - 1.604068707*V8 - 1.037097104*V9 + M \leq 0;$$

$$0.910401677*U1 + 0.047390691*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.899886741*V2 - 1.132184891*V3 - 0.773429828*V4 - 1.306242705*V5 - 1.003291733*V6 - 1.01831503*V7 - 3.143652241*V8 - 1.037097104*V9 + M \leq 0;$$

$$1.227450788*U1 + 0.308039492*U2 + 0*U3 - 0.618469423*V1 - 1.003306961*V2 - 0.313678931*V3 - 0.681811419*V4 - 0.633329797*V5 - 0.877233349*V6 - 0.956519579*V7 - 0.370789751*V8 - 1.065265173*V9 + M \leq 0;$$

$$0.907196243*U1 + 0.616078984*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.979252135*V2 - 0.828112377*V3 - 1.079989287*V4 - 0.992744456*V5 - 1.022265837*V6 - 1.005486497*V7 - 0.926974379*V8 - 0.942349961*V9 + M \leq 0;$$

$$1.012508887*U1 + 2.156276446*U2 + 0*U3 - 0.045986895*V1 - 0.925891437*V2 - 0.739386051*V3 - 1.542841839*V4 - 0.597139522*V5 - 1.061366489*V6 - 1.062854809*V7 - 0.854428558*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.093941674*U1 + 1.326939351*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.955100949*V2 - 0.554539538*V3 - 1.071417944*V4 - 0.68422237*V5 - 0.967559805*V6 - 0.977412146*V7 - 0.902792438*V8 - 1.136965714*V9 + M \leq 0;$$

$$0.946871817*U1 + 0.616078984*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.922523022*V2 - 0.207028094*V3 - 0.809991965*V4 - 0.88824504*V5 - 1.054009011*V6 - 1.061813665*V7 - 0.080606468*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.921420631*U1 + 1.824541608*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.000565806*V2 - 1.380187296*V3 - 1.049989585*V4 - 1.306242705*V5 - 1.078934004*V6 - 1.079923745*V7 - 0.967277613*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.098221816*U1 + 0.42651622*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.005146188*V2 - 0.267708743*V3 - 1.241366997*V4 - 0.540514223*V5 - 0.970207298*V6 - 1.036528724*V7 - 0.54812398*V8 - 1.003807567*V9 + M \leq 0;$$

$$0.974828452*U1 + 1.658674189*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.918083843*V2 - 1.470369988*V3 - 0.56249442*V4 - 1.306242705*V5 - 0.962324633*V6 - 0.88909422*V7 - 2.265041743*V8 - 1.024293436*V9 + M \leq 0;$$

$$0.932653394*U1 + 0.142172073*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.911669853*V2 - 1.492991065*V3 - 0.692300825*V4 - 1.306242705*V5 - 0.975383415*V6 - 0.88213159*V7 - 0.967277613*V8 - 1.010721548*V9 + M \leq 0;$$

$$0.87647653*U1 + 1.658674189*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.983059793*V2 - 0.57507804*V3 - 1.166655094*V4 - 1.257863346*V5 - 1.036864571*V6 - 1.03611842*V7 - 1.007580846*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.962405601*U1 + 0.876727786*U2 + 0*U3 - 0.105572066*V1 - 0.93457913*V2 - 0.43130853*V3 - 0.937490701*V4 - 0.979682029*V5 - 1.035258425*V6 - 1.058311002*V7 - 0.233758756*V8 - 0.947215355*V9 + M \leq 0;$$

$$0.797437443*U1 + 0.521297602*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.905127503*V2 - 0.72459833*V3 - 1.349986609*V4 - 1.097243873*V5 - 1.001359559*V6 - 0.955083518*V7 - 1.563765474*V8 - 0.960787243*V9 + M \leq 0;$$

$$0.840913174*U1 + 0.900423131*U2 + 0*U3 - 0.020454588*V1 - 0.93035392*V2 - 0.267708743*V3 - 1.784465058*V4 - 0.855814186*V5 - 0.96858665*V6 - 0.976300933*V7 - 0.717397563*V8 - 1.115455551*V9 + M \leq 0;$$

$$0.816690505*U1 + 0.42651622*U2 + 0*U3 - 2.945460629*V1 - 0.903202402*V2 - 0.295754421*V3 - 0.835705996*V4 - 1.306242705*V5 - 1.119912729*V6 - 1.169613316*V7 - 0.507820747*V8 - 0.937228494*V9 + M \leq 0;$$

$$1.086331373*U1 + 0.900423131*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.103703607*V2 - 0.331775792*V3 - 1.961519004*V4 - 1.038295484*V5 - 1.027787762*V6 - 1.087956513*V7 - 1.209097016*V8 - 0.884989528*V9 + M \leq 0;$$

$$0.899510191*U1 + 0.710860367*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.917662445*V2 - 0.57507804*V3 - 0.749992561*V4 - 0.507983274*V5 - 1.06305538*V6 - 1.025748004*V7 - 0*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.842794137*U1 + 1.374330042*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.876675138*V2 - 1.109079077*V3 - 1.205345187*V4 - 1.306242705*V5 - 1.103818042*V6 - 1.15175968*V7 - 0.870549851*V8 - 0.973078764*V9 + M \leq 0;$$

$$0.981196469*U1 + 1.208462623*U2 + 0.637412*U3 - 1.275634351*V1 - 1.049520322*V2 - 0.562576343*V3 - 0.684775816*V4 - 0.51113845*V5 - 1.045058835*V6 - 1.05598276*V7 - 0.862489204*V8 - 0.925193046*V9 + M \leq 0;$$

$$0.960572721*U1 + 0.734555712*U2 + 2.111216467*U3 - 6.545468063*V1 - 1.008818746*V2 - 1.237667955*V3 - 1.027163724*V4 - 1.05067348*V5 - 0.965255099*V6 - 0.954021125*V7 - 0.491699453*V8 - 1.001246833*V9 + M \leq 0;$$

$$0.948911814*U1 + 0.710860367*U2 + 0*U3 - 0.601350423*V1 - 1.038715389*V2 - 1.027529145*V3 - 0.860285584*V4 - 0.74916861*V5 - 0.942710455*V6 - 0.916179154*V7 - 0.830246617*V8 - 1.136965714*V9 + M \leq 0;$$

$$1.007215557*U1 + 0.63977433*U2 + 1.477851527*U3 - 2.850914979*V1 - 1.02374183*V2 - 1.770635017*V3 - 0.710519268*V4 - 1.306242705*V5 - 1.00216051*V6 - 0.992304995*V7 - 0.419153632*V8 - 0.93466776*V9 + M \leq 0;$$

$$1.134298605*U1 + 3.056699577*U2 + 1.859712492*U3 - 0.607688869*V1 - 1.205042218*V2 - 2.137790105*V3 - 0.332605396*V4 - 0.874614681*V5 - 0.991879244*V6 - 1.112093859*V7 - 1.894251991*V8 - 0.979480598*V9 + M \leq 0;$$

$$1.127287222*U1 + 0.616078984*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.00386514*V2 - 0.931626425*V3 - 1.349986609*V4 - 1.201743289*V5 - 0.951302012*V6 - 0.997696447*V7 - 0.475578159*V8 - 0.958226509*V9 + M \leq 0;$$

$$0.910083474*U1 + 0.781946403*U2 + 0*U3 - 1.053056376*V1 - 1.016813782*V2 - 1.225824243*V3 - 0.947359024*V4 - 1.099993857*V5 - 0.942489739*V6 - 0.951612687*V7 - 1.281642837*V8 - 0.922632312*V9 + M \leq 0;$$

$$0.910252702*U1 + 0.402820874*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.018219097*V2 - 0.417395352*V3 - 1.524178429*V4 - 1.011284675*V5 - 1.073107318*V6 - 1.034348987*V7 - 0.451396219*V8 - 1.106236911*V9 + M \leq 0;$$

$$0.990097406*U1 + 0.616078984*U2 + 0*U3 - 2.629620357*V1 - 1.029270563*V2 - 0.621084283*V3 - 1.079989287*V4 - 1.149493581*V5 - 1.016379141*V6 - 1.023963185*V7 - 1.02370214*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.846175903*U1 + 1.729760226*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 1.025383575*V2 - 0.352888797*V3 - 1.534075692*V4 - 1.098431366*V5 - 0.926267877*V6 - 0.939968301*V7 - 0.628730448*V8 - 0.9986861*V9 + M \leq 0;$$

$$1.019533523*U1 + 1.729760226*U2 + 0.240954053*U3 - 0.023715464*V1 - 1.024337996*V2 - 0.7611327*V3 - 1.164694329*V4 - 0.445659276*V5 - 0.943415528*V6 - 0.980103657*V7 - 1.563765474*V8 - 1.106236911*V9 + M \leq 0;$$

$$0.854534779*U1 + 0.497602257*U2 + 0*U3 - 6.545468063*V1 - 0.937588716*V2 - 1.132184891*V3 - 0.937490701*V4 - 1.306242705*V5 - 1.003886313*V6 - 1.016467823*V7 - 0.943095672*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$0.846841765*U1 + 1.137376587*U2 + 0.225434979*U3 - 0.33282041*V1 - 0.88952692*V2 - 0.603831942*V3 - 1.424985865*V4 - 1.306242705*V5 - 0.997971716*V6 - 0.92729933*V7 - 0.52394204*V8 - 1.029414903*V9 + M \leq 0;$$

$$1.01606634*U1 + 0.663469676*U2 + 0*U3 - 0.404041238*V1 - 0.979227401*V2 - 0.333916281*V3 - 0.798379177*V4 - 0.758463506*V5 - 1.123829544*V6 - 1.163864608*V7 - 0.612609155*V8 - 0.933387393*V9 + M \leq 0;$$

$$1.075702005*U1 + 0.402820874*U2 + 1.209151249*U3 - 1.666119143*V1 - 1.059014306*V2 - 0.779900355*V3 - 1.325329319*V4 - 1.091517877*V5 - 1.086422748*V6 - 1.114457044*V7 - 0.403032339*V8 - 0.9986861*V9 + M \leq 0;$$

$$1.004635603*U1 + 0.829337094*U2 + 0*U3 - 0.198347517*V1 - 1.000159054*V2 - 0.548938129*V3 - 1.363622837*V4 - 1.147910256*V5 - 0.962256241*V6 - 0.903933272*V7 - 0.580366568*V8 - 1.085751042*V9 + M \leq 0;$$

$$0.974861669*U1 + 0.781946403*U2 + 3.677602878*U3 - 0.663595841*V1 - 1.051772719*V2 - 1.58146461*V3 - 0.24999752*V4 - 1.306242705*V5 - 0.925140282*V6 - 0.859596573*V7 - 0.507820747*V8 - 1.143111474*V9 + M \leq 0;$$

$$1.390524201*U1 + 0.521297602*U2 + 3.013095346*U3 - 0.93204076*V1 - 1.271100125*V2 - 2.057009912*V3 - 0.288458677*V4 - 1.306242705*V5 - 0.932632272*V6 - 1.006226892*V7 - 0.475578159*V8 - 0.952592895*V9 + M \leq 0;$$

$$1.310903119*U1 + 1.587588152*U2 + 10.67146277*U3 - 1.567867931*V1 - 1.273981496*V2 - 2.373979181*V3 - 0.167353712*V4 - 1.306242705*V5 - 0.989180121*V6 - 0.99129824*V7 - 0.765761443*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.103911273*U1 + 0.497602257*U2 + 3.086651923*U3 - 1.436136453*V1 - 1.102366047*V2 - 1.848465128*V3 - 0.321425383*V4 - 1.306242705*V5 - 0.890100291*V6 - 0.882870136*V7 - 0.403032339*V8 - 0.991003899*V9 + M \leq 0;$$

$$1.218713799*U1 + 1.208462623*U2 + 5.6028437*U3 - 0.383617176*V1 - 1.161756039*V2 - 2.00192261*V3 - 0.339619273*V4 - 1.306242705*V5 - 0.902044538*V6 - 0.921071282*V7 - 0.588427214*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.262119939*U1 + 0.521297602*U2 + 10.68803336*U3 - 2.197407136*V1 - 1.226893473*V2 - 1.9169268*V3 - 0.24999752*V4 - 1.306242705*V5 - 0.840874155*V6 - 0.759621122*V7 - 0.507820747*V8 - 1.007648667*V9 + M \leq 0;$$

$$1.521589116*U1 + 1.91932299*U2 + 13.81469905*U3 - 0.379447424*V1 - 1.33205743*V2 - 2.492004839*V3 - 0.083332507*V4 - 1.306242705*V5 - 0.879799714*V6 - 0.900667042*V7 - 0.717397563*V8 - 0.929546293*V9 + M \leq 0;$$

$$1.171875254*U1 + 1.089985896*U2 + 13.33530089*U3 - 1.840912893*V1 - 0.993429633*V2 - 1.4376951*V3 - 0.541661294*V4 - 1.306242705*V5 - 0.940020254*V6 - 0.955232837*V7 - 0.781882737*V8 - 1.0025272*V9 + M \leq 0;$$

$$1.322770596*U1 + 1.06629055*U2 + 6.478833341*U3 - 2.513159658*V1 - 1.238043377*V2 - 2.211436462*V3 - 0.245452111*V4 - 1.306242705*V5 - 0.954271992*V6 - 0.970661235*V7 - 0.717397563*V8 - 1.006368301*V9 + M \leq 0;$$

$$0.959998872*U1 + 1.49280677*U2 + 0.145521485*U3 - 1.675754406*V1 - 1.028161894*V2 - 0.928972218*V3 - 1.269218179*V4 - 0.452160936*V5 - 0.949020792*V6 - 0.972950362*V7 - 0.943095672*V8 - 1.075508107*V9 + M \leq 0;$$

$$0.838250163*U1 + 0.687165021*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.88463165*V2 - 0.378709929*V3 - 1.646325133*V4 - 1.019506502*V5 - 0.962518237*V6 - 0.832794483*V7 - 0.02418194*V8 - 1.095993976*V9 + M \leq 0;$$

$$1.120867674*U1 + 2.724964739*U2 + 3.059298341*U3 - 1.935680588*V1 - 1.141772872*V2 - 1.620430178*V3 - 0.820085323*V4 - 0.817927675*V5 - 0.959776934*V6 - 0.968342005*V7 - 1.902312638*V8 - 1.079093134*V9 + M \leq 0;$$

$$0.871629472*U1 + 0.260648801*U2 + 0*U3 - 1.667749397*V1 - 0.935927601*V2 - 0.646962795*V3 - 1.546859656*V4 - 1.306242705*V5 - 0.904985073*V6 - 0.666400951*V7 - 0.532002687*V8 - 0.987162799*V9 + M \leq 0;$$

$$1.12855152*U1 + 1.018899859*U2 + 0*U3 - 0*V1 - 0.969228214*V2 - 0.880970614*V3 - 1.101052908*V4 - 0.83377194*V5 - 0.925259737*V6 - 0.927527548*V7 - 1.668553882*V8 - 0.921864092*V9 + M \leq 0;$$

$$1.141349467*U1 + 1.303244006*U2 + 0*U3 - 0.045933109*V1 - 1.041937352*V2 - 1.121402178*V3 - 1.124988841*V4 - 0.827287047*V5 - 0.967423013*V6 - 0.982732049*V7 - 0.677094329*V8 - 0.929034146*V9 + M \leq 0;$$

$$1.107924788*U1 + 1.089985896*U2 + 0*U3 - 0.885152265*V1 - 1.103673518*V2 - 0.398130951*V3 - 1.903827269*V4 - 1.205762497*V5 - 1.090569181*V6 - 1.116204497*V7 - 0.870549851*V8 - 1.07038664*V9 + M \leq 0;$$

!PESOS > E;

U1>= E;

U2>= E;

U3>= E;

V1>= E;

V2>= E;

V3>= E;

V4>= E;

V5>= E;

V6>= E;

V7>= E;

V8>= E;

V9>= E;

E = 0.001;

## ANEXO E – COMPARAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÕES

Tabela 10 – Comparação entre classificações DEA, CPC, RUF e Guia.

DMU	DEA	CPC	RUF	GUIA	DMU	DEA	CPC	RUF	GUIA
70	5	5	13	5	8	5	2	88	2
75	5	4	1	5	15	5	2	90	2
71	5	4	4	5	7	5	2	97	2
73	5	4	26	3	62	5	2	203	2
58	5	4	208	3	79	5	2	306	2
72	5	4	38	2	48	5	2	310	2
27	5	4	79	2	51	5	2	352	2
29	5	4	188	2	56	4	4	18	4
36	5	4	261	2	25	4	4	325	3
57	5	3	11	5	61	4	3	70	3
69	5	3	16	4	10	4	3	243	3
74	5	3	8	3	16	4	3	338	3
76	5	3	22	3	64	4	3	60	2
65	5	3	61	3	20	4	3	71	2
82	5	3	64	3	14	4	3	80	2
30	5	3	92	3	26	4	3	93	2
50	5	3	105	3	1	4	3	96	2
39	5	3	126	3	9	4	3	162	2
53	5	3	137	3	66	4	3	302	2
44	5	3	166	3	46	4	3	303	2
43	5	3	178	3	21	4	3	339	2
4	5	3	180	3	77	3	4	5	5
47	5	3	221	3	67	3	4	57	3
18	5	3	230	3	84	3	4	72	3
63	5	3	258	3	80	3	3	12	4
11	5	3	280	3	78	3	3	78	3
81	5	3	46	2	54	3	3	100	3
6	5	3	110	2	59	3	3	157	3
83	5	3	120	2	12	3	3	160	3
52	5	3	212	2	13	3	3	189	3
42	5	3	214	2	5	3	3	224	3
38	5	3	223	2	34	3	3	156	2
49	5	3	231	2	68	3	3	233	2
23	5	3	250	2	2	3	3	272	2
28	5	3	276	2	17	3	3	319	2
45	5	3	322	2	33	3	3	350	2
3	5	3	336	2	35	3	3	363	2
32	5	3	341	2	37	3	3	313	1
41	5	3	344	2	24	2	4	114	3
31	5	3	273	1	55	2	2	43	4
40	5	3	308	1	60	2	2	74	3
22	5	2	205	3	19	1	4	170	3

Fonte: INEP, 2016h; Folha de S. Paulo, 2016b; Editora Abril, 2016 (Adaptado)



## ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA

## Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>11</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>12</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 30 de novembro de 2016.

Renata Ferreira de Sá  
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

200949047  
Matrícula

Renata Ferreira de Sá  
ASSINATURA

098.055.456-01  
CPF

<sup>11</sup> LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>12</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.