

PEDRO CORREIA E ANDRADE

Aplicação da análise envoltória de dados em problemas do agronegócio

Pedro Correia e Andrade

Aplicação da análise envoltória de dados em problemas do agronegócio

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

A553a	Andrade, Pedro Correia e Aplicação da análise envoltória de dados em problemas do agronegócio / Pedro Correia e Andrade. – Guaratinguetá, 2018. 39 f : il. Bibliografia: f.34-36 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva 1. Análise de envoltória de dados. 2. Agronegócio. 3. Vendas - Administração. I. Título CDU 669.14
-------	---

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária/CRB-8/9203

PEDRO CORREIA E ANDRADE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins
UNESP-FEG

Me. Caio Felipe de Paula Santos
Membro Externo

Dezembro e 2018

DADOS CURRICULARES

PEDRO CORREIA E ANDRADE

NASCIMENTO	26.01.1995 – Salvador / BA
FILIAÇÃO	Sanney Anjos D’Andrade Marcia Danielle Bandeira Correia
2014/2018	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Aos meus pais Sanney e Márcia

Aos meus padrinhos Susanne e Carlos

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família que sempre me forneceu apoio e meios de facilitar minha caminhada até este momento.

Ao orientador, Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva pelo incentivo, paciência, respeito e bom-humor. Pelos ensinamentos, correções dos meus erros e orientação para estar em constante melhoria. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos meus padrinhos Susanne Anjos Andrade e Carlos Miguel de Barros Baptista que me proporcionaram aconselhamentos e amor.

Ao meus pais, Sanney Anjos D'Andrade e Márcia Danielle Bandeira Correia por estarem presentes e próximos em toda a minha vida, mesmo que em alguns momentos afastados fisicamente.

À Carolina Belleze Meira Lima que me auxiliou com as correções dos meus textos.

Ao Prof. Dr. Fernando Augusto Marins e ao Me. Caio Felipe de Paula Santos por aceitarem o convite para a banca.

Aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“O Sucesso está em não complicar e fazer o simples: simples de falar, de desenhar, de mostrar. O simples convence”.

Susanne Andrade

RESUMO

O mundo competitivo exige cada vez mais que as empresas forneçam seus produtos com qualidade, agilidade e menor custo. Isso não é diferente para empresas agrícolas vendedoras de sementes transgênicas. A demanda por esse tipo de produto tende a aumentar devido ao crescimento populacional acentuado, a necessidade de se possuir lavouras mais produtivas e que utilizem menos recursos naturais. Dessa forma, este trabalho tem como principal objetivo utilizar um modelo da Análise por Envoltória de Dados - Dual (DEA - *Data Envelopment Analysis*) para medir a eficiência de todas as áreas comerciais de uma empresa e determinar metas para tornar as regiões ineficientes em eficientes. O método de pesquisa utilizado foi a modelagem e simulação, construindo um referencial teórico que fornecesse suporte à abordagem quantitativa. Os resultados gerais do trabalho atendem aos objetivos propostos e permitem a utilização dessa análise como um indicador inovador para tomadas de decisões estratégicas do time comercial da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: *Data envelopment analysis. Agribusiness. Vendas. DEA-Dual.*

ABSTRACT

The competitive world has been demanding that the companies provide products with quality, speed and lower cost. This is not different from transgenic seed-selling agricultural companies. The demand of this kind of product tends to grow, due to the accelerated population increase and the need to have more productive crops that uses less natural resources. That way, the main objective of this work is to use DEA-Dual (Data Envelopment Analysis Dual) to measure the efficiency of all commercial areas of a company and set targets to make inefficient regions efficient. The search method used was modelling and simulation, building a theoretical framework to provide support for the quantitative development. The overall results obtained meet the proposed objectives and allow the use of this analysis as an innovative indicator for the strategic decisions of the company's commercial team.

KEYWORDS: Data envelopment analysis. Agribusiness. Sales. DEA-Dual.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Crescimento Populacional.....	14
Figura 2 – Publicações sobre DEA.....	16
Figura 3 – Áreas do conhecimento contempladas pelo modelo DEA.....	16
Figura 4 – Número de citações relacionados aos termos “ <i>Data Envelopment Analysis</i> ” and “ <i>Agribusiness</i> ”	17
Figura 5 – Principais palavras ou frases em resumos e títulos	18
Figura 6 – Ligações do termo DEA.....	18
Figura 7 – Ligações do termo <i>Agribusiness</i>	19
Figura 8 – Classificação da pesquisa	20
Figura 9 – Planejamento de atividades	21
Quadro 1 – Parâmetros selecionados para <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do modelo	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de entrada e saída das DMUs.....	37
Tabela 2 – Metas e eficiência das DMUs não eficientes	31
Tabela 3 – Porcentagem de redução dos <i>inputs</i>	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATS	Assistente Técnico de Vendas
CGM	Cultura Geneticamente Modificada
CRS	<i>Constant Return to Scale</i>
CY	<i>Crop Year</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
PL	Programação Linear
PNL	Programação Não Linear
PM	Programação Matemática
POG	<i>Plant on Ground</i>
VRS	<i>Variable Return to Scale</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

ha hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA CIENTÍFICA	15
1.3	QUESTÃO DA PESQUISA E OBJETIVOS	19
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	22
2.2	AGRONEGÓCIO	22
2.3	ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS	24
2.3.1	Os Modelos Clássicos dos Multiplicadores DEA	26
2.3.2	DEA-Dual ou Modelo do Envelope	27
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM	29
3.1	SELEÇÃO DAS DMUS	29
3.2	DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS DA MATRIZ	29
3.3	DEFINIÇÃO DE ENTRADAS E SAÍDAS	30
3.4	MODELAGEM E SOLUÇÃO DO MODELO DEA-DUAL	31
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	33
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS, RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA E CONCLUSÕES	33
4.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	33
	REFERÊNCIAS	34
	APÊNDICE A	37

1 INTRODUÇÃO

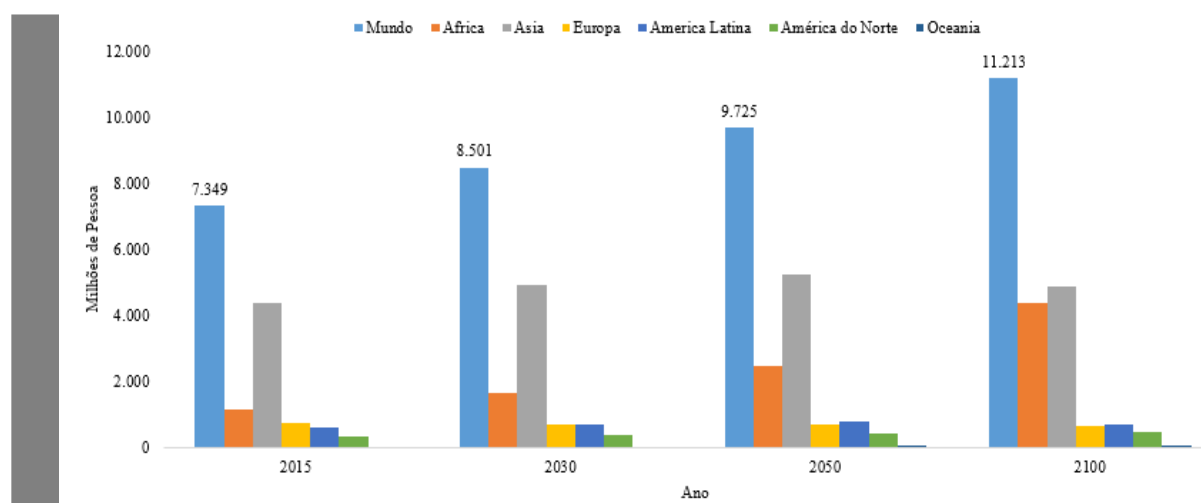
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Pathak e Stoddard (2018), fatores climáticos, por terem influência em muitos tipos de cultura, podem alterar de maneira significativa a fenologia e produtividade. Mesmo com a utilização de irrigação, a produção agrícola ainda continua dependente do clima (LOBELL; NICHOLAS; FIELD, 2007).

A evolução e aumento da demanda agrícola se deve aos desafios gerados pelo crescimento da população mundial e escassez de oferta, que vai superar a capacidade de produção agrícola em uma questão de décadas (POUVREAU; VANHERCKE; SINGH, 2018). A população mundial atingiu 7,3 bilhões de habitantes em 2015 e deve chegar a um total de 9,7 bilhões em 2050 (UNITED NATIONS, 2015).

O crescimento populacional a partir de 2015 pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Crescimento Populacional



Fonte: United Nations (2015).

Segundo Pouvreau, Vanhercke e Singh (2018), a humanidade aprendeu a aprimorar as colheitas pela utilização de defensivos agrícolas e reprodução inteligente. Novos desafios vêm surgindo para a agricultura, que deve procurar satisfazer a tendência que busca por comidas mais saudáveis e bioenergia – as variedades geneticamente modificadas, os transgênicos, por exemplo, trazem diversos tipos de benefícios, incluindo os citados anteriormente.

Apesar da relutância do consumidor final, a demanda dos agricultores sobre as sementes geneticamente modificadas cresce ano a ano – empresas de agronegócio devem estar preparadas para este aumento e, conseqüentemente, o da concorrência.

As constantes mudanças nas condições econômicas se tornam um desafio para muitas empresas na busca por melhorias como redução de custos, qualidade e respostas rápidas para se adequarem à grande concorrência (LIU, 2008). Para isso, modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos para quantificar medidas de desempenho como qualidade e flexibilidade, justificando investimentos em sistemas avançados de manufatura (LIU, 2008).

De acordo com Zhou *et al.* (2012), a Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) é uma medida sistemática para analisar o desempenho de organizações e processos operacionais, e avaliar a efetividade relativa de Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units* - DMUs) homogêneas sem conhecer as funções produtivas, usando somente dados de entrada e saída, sendo ampliada para muitas áreas, incluindo setores lucrativos e não lucrativos.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA CIENTÍFICA

Hatami-Marbini e Toloo (2017) indicam que os modelos DEA clássicos conhecidos por DEA-CCR desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e o DEA-BCC desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) possuem baixo “poder” discriminatório e distribuição irreal de peso associado às variáveis de decisão.

Banker *et al.* (1989) propõem a regra de ouro (*Golden Rule*) do DEA, que sugere uma quantidade mínima de DMUs para contornar o problema do baixo poder discriminatório. O número mínimo de DMUs deve ser três vezes maior que a soma do número dos parâmetros, *inputs* e *outputs*, ou maior que o produto do número desses parâmetros.

Toloo e Tichý (2015) falam de uma regra básica a ser seguida, que relaciona o número de DMUs com o número medidas de desempenho (*inputs* e *outputs*): se o número de DMUs não for suficientemente grande comparado ao número de medidas de desempenho, então a maioria das DMUs são classificadas como eficientes, o que não é lógico.

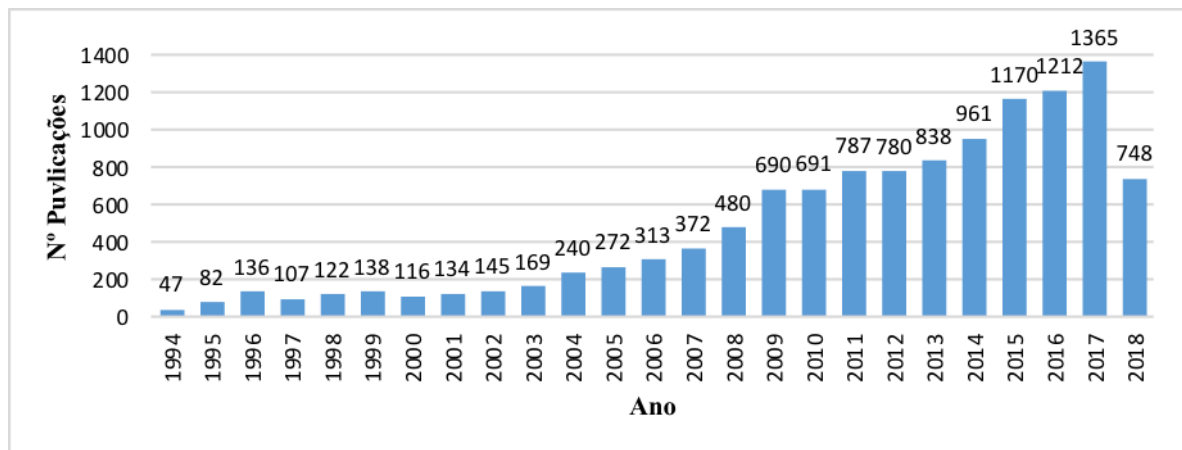
Seguindo a linha do estudo na qual se baseia este trabalho, ou seja, a utilização do modelo DEA em uma aplicação real, a proposta é evidenciar sua relevância científica a partir de uma análise bibliométrica.

Para isso, é utilizada a base de dados do *Web of Science* (www.webofknowledge.com) junto às palavras-chave “*Data Envelopment Analysis*”. O número de publicações que

abordam o tema da ferramenta DEA cresceu de maneira notória de 1994 a 2018, somando um total de 12.115 publicações. Esse aumento ficou ainda mais evidente na última década, uma tendência que se confirmou em 2018, uma vez que em meados do ano citado já alcança 748 publicações sobre o tema, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Publicações sobre DEA.

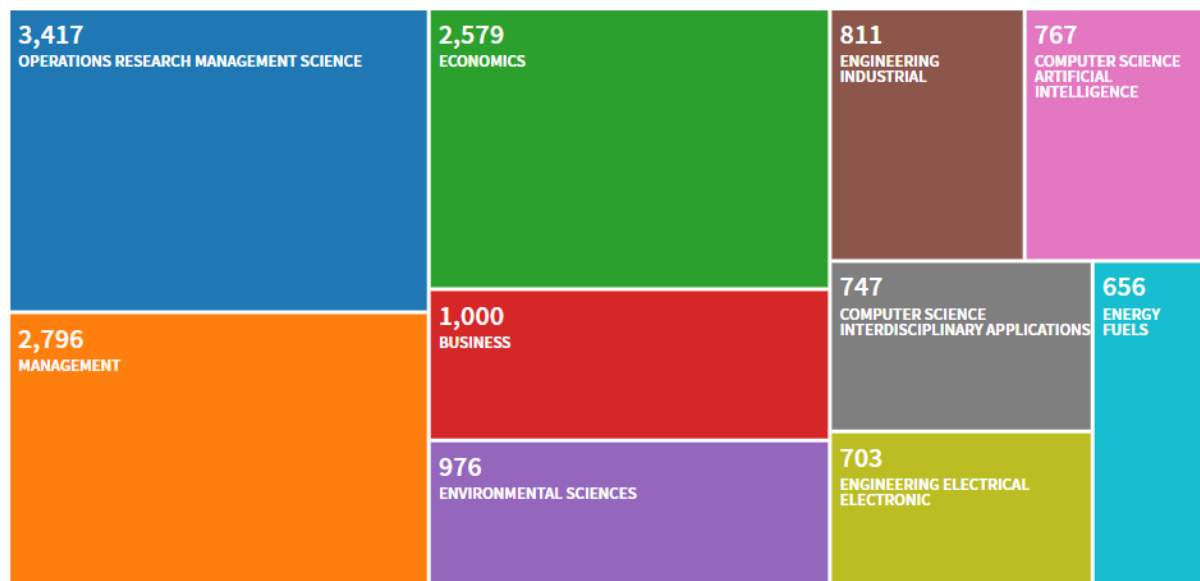
Exibindo **12.273** registros de TÓPICO: (*Data Envelopment Analysis*)



Fonte: Web of Science (2018).

A Figura 3 apresenta as áreas do conhecimento que utilizam o modelo DEA. Esse trabalho aborda as áreas de Gestão da Ciência, Gestão e Ciências do Ambiente.

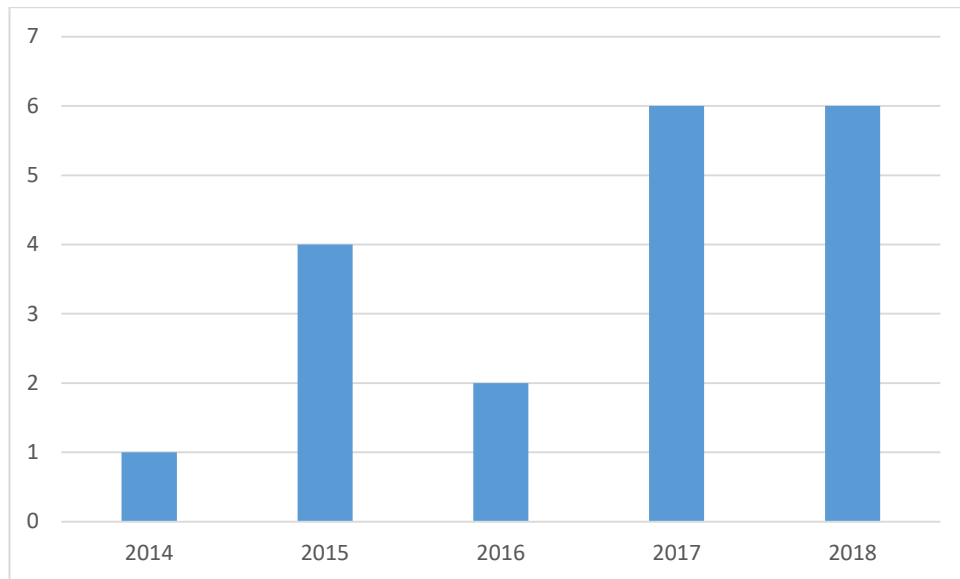
Figura 3 – Áreas do conhecimento contempladas pelo modelo DEA



Fonte: Web of Science (2018).

Ao realizar uma busca na base do *Web of Science* com os termos “*Data Envelopment Analysis*” and “*Agribusiness*”, o número de publicações cai consideravelmente – apenas 10 publicações. A Figura 4 mostra a evolução do número de citações sobre esses trabalhos.

Figura 4 – Número de citações relacionados aos termos “*Data Envelopment Analysis*” and “*Agribusiness*”



Fonte: Web of Science (2018).

A Figura 4 permite identificar que os temas abordados nesse trabalho são atuais, uma vez que a primeira citação aconteceu apenas em 2014, com um crescimento até 2018. Para identificar o nível de correlação entre os temas DEA e agronegócio uma outra pesquisa na base de dados do *Web of Science* é feita utilizando os termos “*Data Envelopment Analysis*” or “*Agribusiness*”.

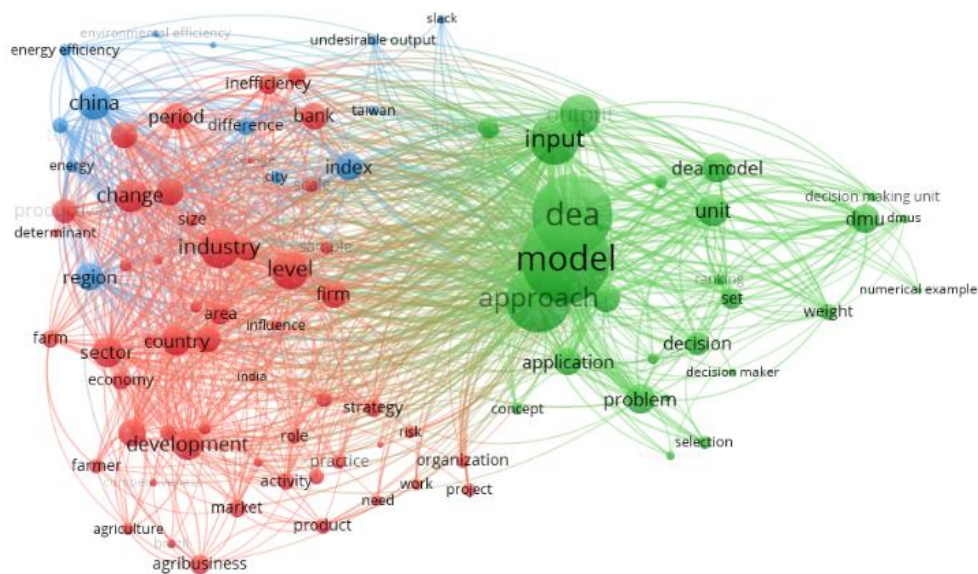
Essa base será analisada utilizando o *software* VOSViewer que avalia os resumos e títulos de todas as 15.276 publicações e suas citações, contabilizando o número de ocorrências de cada termo.

As Figuras 5 a 7 mostram o resultado da análise. Para que se tenha um número aceitável de termos, foi determinado que somente aqueles com um número mínimo de 400 ocorrências devem ser considerados. Deve-se atentar que quanto maior a esfera de cada termo, maior o número de aparições. Nestas Figuras 5-7 também é possível analisar a relação entre cada termo a partir das linhas que ligam um aos outros e a distância entre as palavras – aquelas que possuem maior proximidade têm maior correlação. A relevância de cada termo também pode

ser identificada de acordo com as cores utilizadas: **azul, vermelho e verde**, respectivamente, indicando da menor à maior.

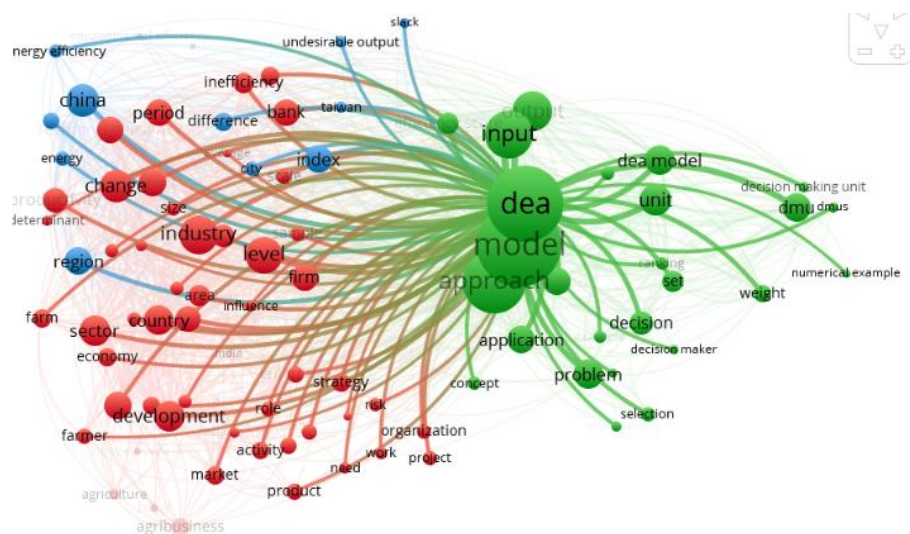
O termo DEA está tingido de verde, ou seja, possui grande importância e se encontra próximo ao centro, conforme ilustrado na Figura 5, o que indica uma maior relação com as outras áreas. O termo *Agribusiness* está em vermelho, o que demonstra menor relevância, e possui uma maior distância do termo DEA, caracterizando pouca correlação entre as duas áreas, evidenciando uma boa oportunidade de desenvolver um trabalho inovador.

Figura 5 – Principais palavras ou frases em resumos e títulos



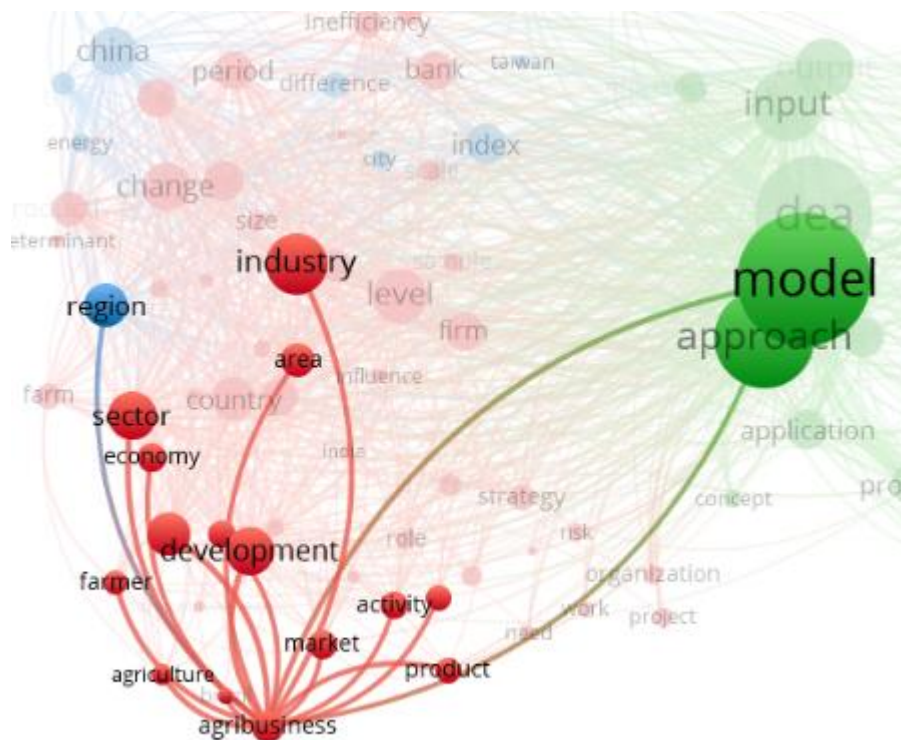
Fonte: VOSViewer e Web of Science (2018).

Figura 6 – Ligações do termo DEA



Fonte: VOSViewer e Web of Science (2018).

Figura 7 – Ligações do termo *Agribusiness*



Fonte: VOSViewer e Web of Science (2018)

Pelas Figuras 6 e 7 é possível determinar que a utilização do modelo DEA para o ramo agrícola é nula ou irrelevante, dada a amostra do total de publicações, o que demonstra uma oportunidade de abordar o modelo DEA em novos temas. Com todas as informações citadas anteriormente, é possível identificar que existe uma oportunidade de estudo do modelo DEA.

1.3 QUESTÃO DA PESQUISA E OBJETIVOS

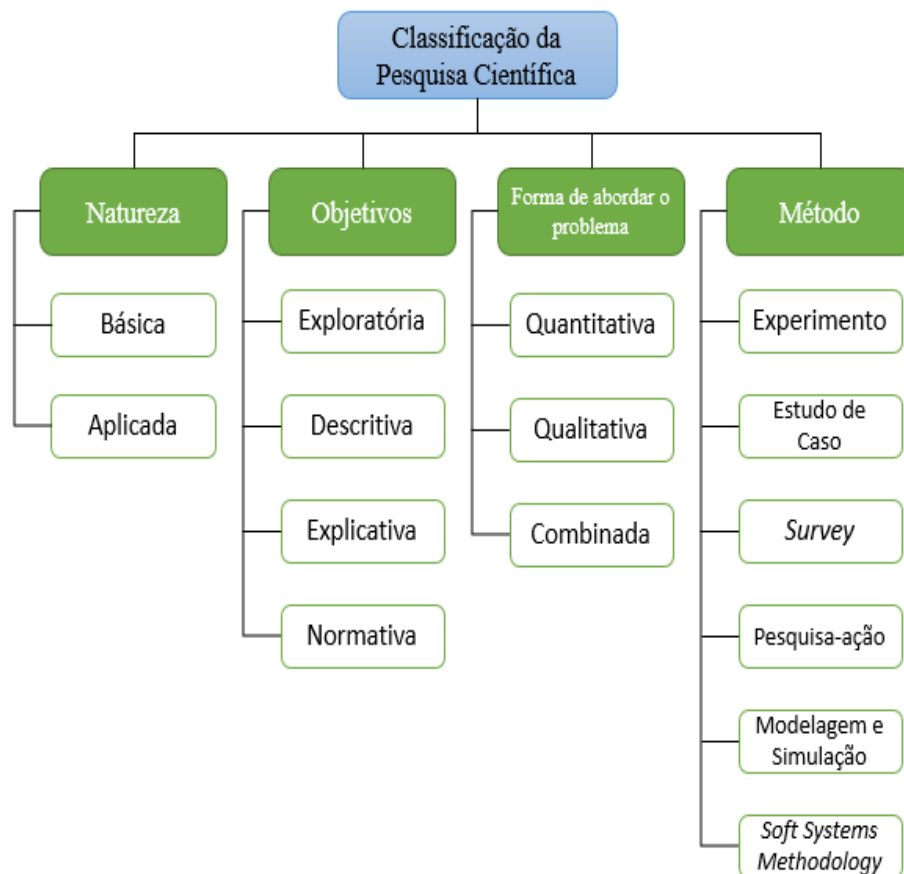
Este trabalho traz como questão de pesquisa determinar a possibilidade de utilizar o modelo DEA para medir eficiência de uma equipe comercial. Possui também três objetivos, um geral e dois específicos. O objetivo geral é aplicar o modelo DEA para avaliar a eficiência de faturamento das organizações regionais de um time comercial. Os objetivos específicos deste trabalho são: identificar o melhor modelo DEA que se adequa a este trabalho, determinar as DMUs relevantes, estipular metas para melhorar as eficiências das DMUs e criar um indicador que auxilie a tomada de decisões estratégicas da empresa.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho se tornou possível pelo uso da base de dados históricos de uma empresa do ramo agrícola, acompanhada de sua modelagem e simulação. De acordo com os dados já adquiridos foram definidos os *inputs* e *outputs* da configuração de uma área comercial. Na próxima etapa do projeto, a modelagem é feita com base na programação em VBA Excel.

A classificação deste estudo pode ser definida, segundo Bertrand e Fransoo (2002), como sendo uma pesquisa aplicada com objetivos empíricos normativos, pois o intuito do trabalho é melhorar uma situação real atual. O problema será abordado de forma quantitativa e o procedimento metodológico é a modelagem e simulação. A visão geral dos tipos de classificação de pesquisa pode ser vista na Figura 8.

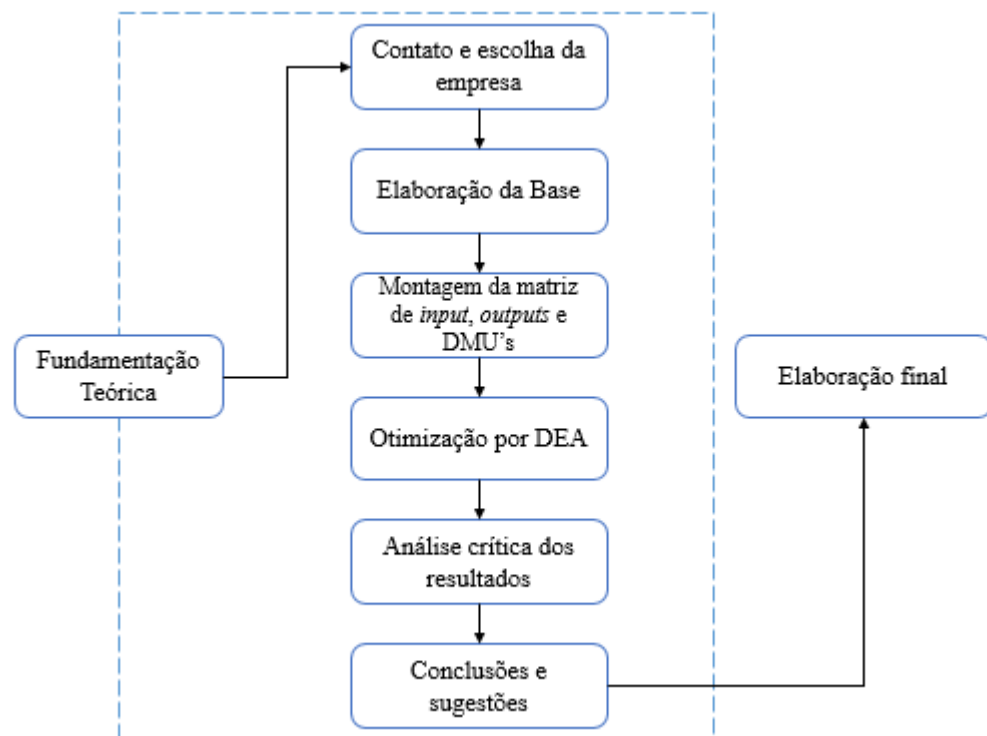
Figura 8 – Classificação da Pesquisa



Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002), Miguel et al. (2010) e Bryman e Bell (2007).

A Figura 9 representa as etapas do trabalho a ser desenvolvido, contendo a seleção da empresa, fundamentação teórica, coleta de dados, análise crítica e conclusões.

Figura 9 – Planejamento das Atividades



Fonte: O Autor (2018)

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Neste trabalho são utilizados dados de uma empresa do ramo agrícola, que possui um time especializado em venda de sementes transgênicas de milho em todo o Brasil, considerando informações de duas safras, o chamado ano agrícola (CY). A escolha da instituição em estudo foi feita pela facilidade de acesso às informações e pela base de dados consistente e organizada.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em mais três capítulos. O segundo Capítulo contém uma fundamentação teórica do modelo DEA. O terceiro Capítulo traz a modelagem do problema e a análise dos resultados. No quarto e último Capítulo estão as conclusões e recomendações para futuros trabalhos, sendo seguido das referências utilizadas na elaboração deste texto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002), modelos quantitativos servem como base para a maioria das pesquisas voltadas para operações, sendo direcionada principalmente para a solução de problemas reais.

A formalização de processos econômicos usando Programação Matemática (PM) é o primeiro passo para a implementação de processos em modelos que são fáceis de entender e otimizar para alcançar o rendimento ótimo (CALIN; LAURA; ADRIAN, 2014).

Segundo Calin, Laura e Adrian (2014), a resolução de problemas utilizando PM deve seguir alguns passos, que são:

- Estabelecer uma meta proposta, que será aplicada ao procedimento de maximização ou minimização;
- Estabelecer restrições e conexões entre as variáveis e suas limitações, pois sem elas o problema não tem valor prático.

Ainda conforme Calin, Laura e Adrian (2014), as funções com envolvimento na formulação do problema são de Programação Linear (PL), caso contrário são problemas de Programação Não Linear (PNL).

O modelo DEA foi estabelecido originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) para avaliar a eficiência de uma DMU (LI; REEVES, 1999). Charnes, Cooper e Rhodes (1978) descrevem a mudança de uma PNL para um método de PL pelo desenvolvimento de equações matemáticas ideais para calcular a sua eficiência, o que é denominado como DEA.

2.2 AGRONEGÓCIO

Archer, Jaradat e Johnson (2007) discutem as práticas de agricultura, orgânica ou convencional (utilizando transgênicos), esta última sendo a predominante. Considerando as culturas de milho, soja e trigo, a produção de orgânicos fica abaixo de 15% comparado às práticas convencionais (ARCHER; JARADAT; JOHNSON, 2007).

Commodities agrícolas classificados como orgânicos possuem um maior valor de mercado do que aqueles produzidos de forma convencional (COX; CHERNEY, 2018). Para que um produto receba o selo de orgânico nos Estados Unidos é necessário que o produtor não utilize culturas geneticamente modificadas (CGM) – transgênico – fertilizantes sintéticos

e defensivos agrícolas por 36 meses (COX e CHERNEY, 2018). Segundo Cox e Cherney (2018), a produtividade de uma cultura orgânica possui menor produtividade/ha e maior custo por hectare.

O modelo convencional tem como objetivo a redução de custos ao utilizar culturas transgênicas que apresentam maior produção com menor consumo de recursos como água e agro defensivos, além de uma maior resistência a variações climáticas (ARCHER; JARADAT; JOHNSON, 2007). A melhoria na sustentabilidade agrícola precisa de variedades de cultura que reduzem a utilização de água.

Segundo Otani, Wakita e Shimada (2003), o uso de engenharia genética na produção junto a métodos convencionais de reprodução permite criar culturas de maior eficiência e resistência. Sementes transgênicas têm genes introduzidos que geram uma tolerância a determinados tipos de insetos e vírus (OTANI; WAKITA; SHIMADA, 2003). Nesse contexto, as plantas de colheita apresentam tolerância a herbicidas como glufosinato e glifosato (OTANI; WAKITA; SHIMADA, 2003).

Newell, Lowe e Marryweather (1995) e Otani e Handa (1993) evidenciam dois processos de inserção do gene desejado para a criação de plantas transgênicas:

- *Shoot*: utilizando os equipamentos adequados, o gene selecionado é “atirado” nas células da planta para que fique retido no núcleo. Este é considerado um método físico de transgenia;
- Métodos Indiretos: fazem uso de determinados organismos, como, por exemplo, bactérias, para funcionarem como vetores de transmissão do gene selecionado.

As técnicas e termos relacionados à agricultura, que se fazem relevantes para este trabalho, serão descritas abaixo. São eles: silagem, biotecnologia, refúgio, aragem e rotação de cultura.

A silagem é usada como uma forma de recurso alimentício e fibra para gado, principalmente para vaca leiteira (SILVAN *et al.*, 2015). Neumann *et al.* (2017) e Silvan *et al.* (2015) exploram as formas da silagem para milho, cultura abordada neste trabalho: uma delas para grãos e a outra para o seu armazenamento junto com a massa verde, sendo este o mais utilizado para a alimentação do gado.

De acordo com Wilkinson e Rinne (2018) e Silvan, Jobim e Poppi(2015), o valor nutritivo da silagem depende de uma gama de fatores como o híbrido utilizado, densidade de cultivo, condições de crescimento, grau de maturidade, umidade da colheita e condições de armazenagem do silo.

A utilização da biotecnologia traz benefícios para a agricultura, como no caso dos transgênicos que podem reduzir os danos causados por pestes e ervas daninhas, reduzir a utilização de defensivos agrícolas e fornecer produtos de maior qualidade para o consumidor (LAXMINARAYAN; SIMPSON, 2002). Entretanto, Laxminarayan e Simpson (2002) também apontam que o seu uso traz preocupações, como a ação de uma pressão seletiva a favor de organismos que possuem resistência a toxinas de defensivos agrícolas e a características específicas de alguns transgênicos.

A aplicação do refúgio busca impedir que a pressão seletiva ocorra (HURLEY; BABCOCK; HELLMICH, 1998). De acordo com Hurley, Babcock e Hellmich (1998), a prática é aquela em que em uma parte da lavoura não são utilizados defensivos agrícolas e transgênicos com as propriedades resistentes a algumas pestes, enquanto noutra sim, para que indivíduos não resistentes possam se reproduzir.

A realização da aragem do solo pode resultar na perda de nutrientes e gerar um aumento da erosão. Para que isso não aconteça, a agricultura sustentável busca diminuir custos, gastos com energia e o impacto no meio ambiente (FIORINI *et al.*, 2018).

A rotação de cultura é uma forma de evitar o consumo de um único nutriente e pode permitir que se equilibre com o consumo de outros como fósforo, potássio e nitrogênio (LENSSEN; SAINJU; BRETT, 2018).

2.3 ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propõem o primeiro modelo DEA, o artigo desenvolve meios de medir a eficiência das DMUs. DEA utiliza um método de PL não paramétrico para medir a eficiência relativa de um conjunto de unidades, comumente denominados de DMUs (TOLOO; NALCHIGAR, 2009).

Ohsato e Takahashi (2015) explicitam que o modelo DEA tradicional lida com a eficiência das DMUs utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolvem um modelo matemático para o cálculo da eficiência das DMUs, que são obtidas ao relacionar a máxima proporção de *outputs* com *inputs* ponderados, esse modelo é formulado pelas expressões de (1) a (5):

$$\max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} / \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} / \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (4)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

sendo:

w_o o valor da eficiência da DMU que está sob análise;

y_{r0} e x_{i0} são, respectivamente, o valor do r -ésimo *output* e i -ésimo *input* para a DMU₀;

x_{ij} a i -ésima dos m *inputs* da j -ésima DMU;

y_{rj} a r -ésima dos s *outputs* da j -ésima DMU;

$u_r \geq 0$ e $v_i \geq 0$ variáveis peso dos *outputs* e dos *inputs*, respectivamente, a serem definidas pela otimização do problema.

Os parâmetros x_{ij} e y_{rj} representam as características da DMU em análise.

De acordo com Charnes, Cooper e Rhodes (1978), j representa o índice das n DMUs, $j \in (1, 2, \dots, n)$. A função de maximização concede à DMU em análise uma relação dos pesos u_r e v_i mais favoráveis, atribuídos respectivamente aos *outputs* e *inputs*. Sendo r índice das s saídas, $r \in (1, \dots, s)$, e i índice das m entradas, $i \in (1, \dots, m)$.

O DEA utiliza um algoritmo de PL para avaliar a eficiência das DMUs, utilizando uma escala de 0 a 1, na qual 0 implica que a DMU é completamente ineficiente e 1 indica que está na fronteira eficiente (podendo ser a fronteira de custos, produção, ou ambas) (FRIESNER; MITTELHAMER; ROSENMAN, 2013).

Friesner, Mittelhamer e Rosenman (2013) dissertam sobre as três vantagens da utilização do modelo DEA para caracterizar a eficiência. A primeira é a não-necessidade de uma coleta de dados rígida, bastando apenas extrair dados de *inputs* e *outputs* que sejam relevantes para cada DMU. Já a segunda, consiste no modelo que utiliza uma forma não paramétrica, as variáveis se relacionam pela alternância dos dados em cada DMU. Para finalizar, a terceira é a simplicidade de entendimento, comparado a outros modelos, a relação de informações, mesmo havendo múltiplos *inputs* e múltiplos *outputs*.

2.3.1 Os Modelos Clássicos dos Multiplicadores DEA

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram um grupo de equações matemáticas ótimas para julgar a fronteira de eficiência e calculá-la – esse primeiro modelo DEA foi nomeado como DEA-CCR, devido às iniciais dos autores (WEI *et al.*, 2011).

Pelas expressões (6) a (10) é formulado o modelo primal orientado ao *input*, também conhecido como modelo multiplicador DEA-CCR, que assume retornos constantes de escala, *Constant Return to Scale* (CRS):

$$\max w_0 \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (9)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

Banker, Charnes e Cooper(1984) desenvolvem um modelo, baseado no trabalho de Charnes *et al.* (1978) que, por meio da variável c_0 , conhecida como fator de escala, permite retornos variáveis de escala, *Variable Return to Scale* (VRS), que é descrito pelas expressões (11) a (16):

$$\max w_0 \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + c_0 \quad (11)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (12)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + c_0 \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (14)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

$$c_0, \text{ irrestrito} \quad (16)$$

Segundo Toloo e Nalchigar(2009) e Toloo (2012), o modelo DEA-CCR é baseado em retornos constantes de escala, sendo que um aumento proporcional na entrada resulta em um aumento proporcional na saída, enquanto que o DEA-BCC estende-se para considerar retornos variáveis de escala.

2.3.2 DEA - Dual ou Modelo do Envelope

Sağlam (2017) explica que existem dois modelos de envelope para os modelos CCR e BCC, sendo um deles orientado ao *input* e o outro ao *output*, descritos pelas expressões (17) a (24), sendo que têm-se:

- Orientado *input*: minimizar as variáveis *input*, enquanto se obtém o nível atual dos *outputs*;
- Orientado *output*: o objetivo é maximizar as variáveis de saída (*outputs*), enquanto se mantém o nível atual dos *inputs*.

Para a minimização dos *inputs*

$$\min h_0 \quad (17)$$

Sujeito a:

$$h_0 x_{i0} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j, \forall_i \quad (18)$$

$$y_{r0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j, \forall_r \quad (19)$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall_r \quad (20)$$

Para a maximização dos *outputs*

$$\max h_0 \quad (21)$$

Sujeito a:

$$x_{i0} \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j, \forall_i \quad (22)$$

$$h_0 y_{r0} \leq \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j, \forall_r \quad (23)$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall_r \quad (24)$$

Para se formular o modelo BCC basta inserir em (20) e (24) a seguinte condição: $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. A variável λ_j é conhecida como variável de importância, indicando as DMUs de referência, *benchmark*, para aquelas que não são eficientes.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM

3.1 SELEÇÃO DAS DMUS

Seguindo os passos definidos para a elaboração desta pesquisa, resumida na Figura 9, a seleção das DMUs foi realizada na 4ª etapa, após a formação da base. Para esta fase foi necessário um maior conhecimento do negócio, que se deu pela vivência na empresa e em conversas recorrentes com gestores, gerentes de vendas e consulta à literatura.

A empresa selecionada, vendedora de sementes transgênicas, possui diversas marcas, sendo que foi selecionada apenas uma para facilitar a estruturação da base de dados – cada DMU selecionada representa uma região onde atua um representante de vendas da empresa. Foram consideradas todas as regiões comerciais do Brasil, e os dados são referente a um CY totalizando 78 DMUs, apresentado na Tabela 1, presente no Apêndice A.

3.2 DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS DA MATRIZ

Com base na literatura é possível afirmar que o modelo que melhor se adequa a este trabalho é o DEA-Dual-BCC orientado ao *input*. O alto número de DMUs permite que seja utilizado um maior número de parâmetros. Em consultas a funcionários da empresa, fica decidida a utilização de 13 parâmetros, 11 *inputs* (x) e 2 *outputs* (y), conforme o Quadro 1:

Quadro 1 – Parâmetros seleccionados para *inputs* e *outputs* do modelo

Parâmetros	Descrição da Variável	[UM]
x_1	Mercado Safrinha	[sacos]
x_2	Mercado verão	[sacos]
x_3	Número ATS	[pessoas]
x_4	Devolução	[sacos]
x_5	Nº Cooperativas	[unidade]
x_6	Nº Vendas Diretas	[unidade]
x_7	Nº Distribuições	[unidade]
x_8	Nº Pontos de Venda	[unidade]
x_9	Portfólio	[unidade]
x_{10}	Geração de Demanda Safrinha	[unidade]
x_{11}	Geração de Demanda Verão	[unidade]
y_1	Faturamento	[sacos]
y_2	POG	[sacos]

Fonte: O Autor (2018)

Os parâmetros x_1 e x_2 retratam os valores de mercado de cada safra em cada região, ou seja, cada DMU possui um limite do quanto é possível vender. O parâmetro x_4 representa o volume de devolução, que é feito no final do CY, um valor que não gera receita para a empresa. Portanto, torna-se interessante reduzi-la, uma vez que esse trabalho tem a intenção de minimizar os *inputs* (a devolução será considerada como um *input*). Os parâmetros x_5 , x_6 e x_7 indicam o número das formas de acesso ao mercado. A geração de demanda são ações, como, *tours* com agricultores, promovidas pela empresa, que buscam agregar valor aos produtos oferecidos por ela. O *output* y_2 é calculado pelo valor do faturamento subtraído pela devolução e estoque presente nas distribuições.

3.3 OBTENÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS

Com os parâmetros definidos, são utilizados os sistemas da própria empresa, que passam por atualizações diárias, para o preenchimento da matriz de dados, expressos na Tabela 1 no Apêndice A.

3.4 MODELAGEM E SOLUÇÃO DO MODELO DEA-DUAL

O primeiro passo para realizar a modelagem do modelo foi a transcrição dos valores da Tabela 1 em uma planilha Excel. Para a solução deste problema é utilizado o modelo DEA-Dual-BCC orientado ao *input*, representado pelas equações (17) a (20) e com a adição da restrição $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. Dessa forma é possível traçar um plano de metas para tornar as DMUs ineficientes eficientes, ao reduzir os valores dos parâmetros de entrada das DMUs ineficientes.

A escolha do modelo BCC ocorre por não haver uma relação linear entre as variações dos *inputs* e *outputs*, e orientado ao *input* pela maior facilidade de alteração dos valores e por serem valores que beneficiam a companhia ao serem reduzidos.

A otimização dos modelos foi realizada por meio do algoritmo SIMPLEX, utilizando programação VBA Excel.

A Tabela 2 apresenta as todas as DMUs consideradas ineficientes pelo modelo DEA-Dual-BCC e suas metas de redução de valores nos *inputs*.

Tabela 2 – Metas e eficiência das DMUs não eficientes

DMU	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	Eficiência
15	11.7017,2	11.195,05	0,84	1.527,20	0,84	3,34	4,18	10,03	17,92	9,19	0,00	83,55%
16	144.677,5	8.999,01	0,95	930,48	3,32	0,00	1,03	13,50	16,08	48,84	0,00	94,56%
23	56.340,29	39.183,71	2,13	1.895,03	2,25	0,80	4,93	11,51	20,79	0,00	149,54	79,97%
30	25.811,66	50.667,33	1,10	1.376,05	1,39	2,16	5,74	11,78	21,04	5,88	86,04	95,60%
31	139.010,41	12.689,13	0,95	1.450,73	0,95	3,74	2,84	8,49	17,51	0,00	1,89	94,70%
39	136.596,33	10.460,91	0,92	134,27	0,57	7,16	4,01	14,05	15,61	11,42	0,00	78,07%
64	7.940,62	87.637,81	1,82	2.405,62	1,70	1,36	4,25	9,34	21,23	0,00	149,22	84,91%
70	18.556,32	64.807,79	0,93	1.000,22	2,10	0,93	6,26	11,55	20,89	0,00	57,40	92,58%

Fonte: O Autor (2018)

A Tabela 3 apresenta a porcentagem de redução dos *inputs* de cada DMU, por parâmetro ou o total de redução das entradas em cada DMU. Esse cálculo é feito dividindo-se o valor da meta pelo valor correspondente da base de dados. Os campos de “Média DMUs” e “Média Variáveis” são a média da sua linha e coluna na tabela, respectivamente.

Tabela 3 – Porcentagem de redução dos *inputs*

DMU	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	Média DMUs
15	16,45%	16,45%	16,45%	52,10%	16,45%	16,45%	16,45%	16,45%	31,08%	16,45%	0,00%	19,53%
16	5,44%	5,44%	5,44%	5,44%	16,91%	0,00%	74,18%	55,00%	5,44%	51,16%	100,00%	29,49%
23	20,03%	20,03%	28,96%	55,73%	71,85%	20,03%	74,08%	66,16%	20,03%	0,00%	20,03%	36,09%
30	4,40%	4,40%	45,10%	46,52%	76,81%	27,89%	4,40%	50,90%	39,87%	67,32%	4,40%	33,82%
31	63,15%	5,30%	5,30%	5,30%	5,30%	53,22%	5,30%	43,38%	16,63%	0,00%	5,30%	18,93%
39	21,93%	21,93%	54,20%	21,93%	42,69%	34,88%	33,11%	21,93%	21,93%	72,82%	100,00%	40,67%
64	15,09%	32,02%	54,48%	15,09%	15,09%	54,50%	15,09%	22,15%	15,09%	0,00%	57,00%	26,87%
70	7,42%	7,42%	7,42%	22,52%	64,99%	7,42%	51,84%	67,93%	30,38%	100,00%	7,42%	34,07%
Média Variáveis	19,24%	14,13%	27,17%	28,08%	38,76%	26,80%	34,31%	42,99%	22,56%	38,47%	36,77%	29,93%

Fonte: O Autor (2018)

De modo geral, a redução total no valor das entradas para tornar as DMUs ineficientes em eficientes possui uma média de aproximadamente 30%. Este valor determina metas muito agressivas, como por exemplo a DMU 23, que deve reduzir os valores de devolução em mais de 55% e diminuir o número de cooperativas e distribuições em mais de 70%.

O caso menos desafiador é o da DMU 31, que precisa de uma redução média de 18,93% entre todas as variáveis. O time de análise de dados da empresa considera que, para os CYs futuros, tentar reduzir alguns dos valores de *inputs* para acompanhar o aumento na eficiência das regiões ajudará a identificar aumentos nos valores de faturamento e POG. O modelo DEA-Dual pode ser usado como um parâmetro para auxiliar nas redistribuições e reconfigurações das regiões de venda que acontecem todo ano.

O grande número de regiões comerciais da empresa permite a adição de mais parâmetros de entrada e saída – as escolhas dessas variáveis adicionais serão feitas pelos times de vendas e análise de dados para que possam começar a ser mensuradas de maneira adequada, como por exemplo, em gastos financeiros.

Vale ressaltar que os *inputs* e *outputs* considerados nesse trabalho tiveram orientação dos líderes comerciais e gerentes de vendas que julgaram estas variáveis mais relevantes e com dados confiáveis. A aplicação do modelo DEA-Dual pode se tornar viável para outros tipos de negócios, como serviços, escolas, hospitais e empresas de outros ramos.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS, RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA E CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas pelo modelo DEA-Dual-BCC orientado ao *input*, foi possível indicar a eficiência das regiões comerciais. Atendendo à questão da pesquisa e ao objetivo geral. Esse estudo permitiu a criação do primeiro indicador de eficiência das regiões comerciais da empresa.

Mesmo que sua precisão não tenha sido verificada, esse trabalho consegue determinar DMUs eficientes e ineficientes. Esse novo indicador pode servir como referência para a tomada de decisões sobre a distribuição territorial das regiões de venda, e também como um parâmetro comparativo para qualquer outro método de calcular a eficiência que seja desenvolvido no futuro.

Para validar as metas estipuladas neste trabalho, o time de vendas tentará realizar reduções gradativas em alguns dos *inputs*, e acompanhar como essas modificações afetam o faturamento de cada região e sua eficiência. Somente será possível medir o impacto das alterações nos *inputs* no final do próximo ano, quando será feito o fechamento total das informações dos parâmetros, o que permite atender ao objetivo específico deste trabalho.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como propostas para futuras pesquisas, fica a sugestão de criar e mensurar novos parâmetros que podem tornar mais confiável a determinação de DMUs eficientes e ineficientes. Outra possibilidade é a utilização do modelo DEA-Dual-CCR orientado ao *input* para que se tenha uma maior distinção das DMUs eficientes e ineficientes, podendo criar um *ranking*, das regiões de venda em um CY.

Pela grande diferença que existe de portfólio e mercado entre as duas safras que compõem um CY, é interessante tentar realizar acompanhamentos mais detalhados dos dados. Essa separação permitiria uma melhor comparação entre as DMUs.

REFERÊNCIAS

- ARCHER, D.W.; JARADAT, A.A.; JOHNSON, J.M.F. Crop productivity and economics during the transition to alternative cropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 6, p. 1538–1547, 2007.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Catonsville, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.
- BANKER, R. D. et al. An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. **Research in Governmental and Non-Profit Accounting**, Lakewood Ranch, v. 5, p. 125–163, 1989.
- BAL, H.; ÖRKÇÜ, H.H.; ÇELEBIOĞLU, S. Improving the discrimination power and weights dispersion in the data envelopment analysis. **Computers and Operations Research**, Londres, v. 37, n. 1, p. 99–107, 2010.
- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, Bingley, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.
- BRYMAN, A.; BELL, E. **The Nature of Quantitative Research**. New York: Oxford University, p. 154–177, 2007.
- CALIN, A.; LAURA, A.E.; ADRIAN, G. Formal models for describing mathematical programming problem. **Procedia Economics and Finance**, Barcelona, v. 15, n. 14, p. 1501–1506, 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- COX, W.; CHERNEY, J. Agronomic comparisons of conventional and organic maize during the transition to an organic cropping system. **Agronomy**, Madison, v. 8, n. 7, p. 113, 2018.
- FIORINI, A. et al. Effects of no-till on root architecture and root-soil interactions in a three-year crop rotation. **European Journal of Agronomy**, v. 99, n. January, p. 156–166, 2018.
- FRIESNER, D.; MITTELHAMMER, R.; ROSENMAN, R. Inferring the incidence of industry inefficiency from DEA estimates. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 224, n. 2, p. 414–424, 2013.
- GHASEMI, M.R.; IGNATIUS, J.; EMROUZNEJAD, A. A bi-objective weighted model for improving the discrimination power in MCDEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 233, n. 3, p. 640–650, 2014.
- HATAMI-MARBINI, A.; TOLOO, M. An extended multiple criteria data envelopment analysis model. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 73, p. 201–219, 2017.

HURLEY, T.M.; BABCOCK, B.A.; HELLMICH, R.L. Biotechnology and pest resistance: An economic assessment of refuges. **American Journal of Agricultural Economics**, Cary, v. 80, n. 5, p. 1176–1177, 1998.

LAXMINARAYAN, R.; SIMPSON, R.D. Refuge strategies for managing pest resistance in transgenic agriculture. **Environmental and Resource Economics**, v. 22, n. 4, p. 521–536, 2002.

LENSSEN, A.W.; SAINJU, U.M.; BRETT, J.D.J. Dryland pea production and water use responses to tillage, crop rotation, and weed management practice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, n. 5, p. 1843, 2018.

LI, X.-B.; REEVES, G.R. A multiple criteria approach to data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 115, n. 3, p. 507–517, 1999.

LIU, S. A fuzzy DEA / AR approach to the selection of flexible manufacturing systems. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 54, p. 66–76, 2008.

LOBELL, D.B., NICHOLAS, K., & FIELD, C.B. Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 81, p. 187–203, 2007.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 2010.

NEUMANN, M; LEÃO, G.M.; ASKEL, E.J. Sealing type effect on corn silage quality in bunker silos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 5 p. 1–6, 2017.

NEWELL, C.A.; LOWE, J.M.; MARRYWEATHER, A. Transformation of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) with *Agrobacterium tumefaciens* and regeneration of plants expressing cowpea trypsin inhibitor and snowdrop lectin. **Plant Science**, Limerick, v. 107, n. 2, p. 215–227, 1995.

OHSATO, S.; TAKAHASHI, M. Management efficiency in japanese regional banks: a network DEA. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Chestnut, v. 172, p. 511–518, 2015.

OTANI, M.; MII, M.; HANDA, T. Transformation of sweet potato plants by *agrobacterium rhizogenes*. **Plant Science**, Limerick, v. 94, p. 151–159, 1993.

OTANI, M.; WAKITA, Y.; SHIMADA, T. Production of herbicide-resistant sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) plants by *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation. **Breeding Science**, Tokyo v. 53, p. 145–148, 2003.

PATHAK, T.B.; STODDARD, C.S. Climate change effects on the processing tomato growing season in California using growing degree day model. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 4, n. 2, p. 765–775, 2018.

POUVREAU, B.; VANHERCKE, T.; SINGH, S. From plant metabolic engineering to plant synthetic biology: The evolution of the design/build/test/learn cycle. **Plant Science**, Limerick, v. 273, n. 2, p. 3–12, 2018.

RUBEM, A.P.S.; SOARES, J.C.M.C. B.; ANGULO, L.M. A goal programming approach to solve the multiple criteria DEA model. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 260, n. 1, p. 134–139, 2017.

SAĞLAM, Ü. A two-stage data envelopment analysis model for efficiency assessments of 39 state's wind power in the United States. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 146, p. 52–67, 2017.

SILVAN, M.; JOBIM, C.C.; POPPI, E.C. Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 44, n. 9, p. 303–313, 2015.

TOLOO, M. On finding the most BCC-efficient DMU: A new integrated MIP – DEA model. **Applied Mathematical Modelling**, Guildford, v. 36, n. 11, p. 5515–5520, 2012.

TOLOO, M.; NALCHIGAR, S. A new integrated DEA model for finding most BCC-efficient DMU. **Applied Mathematical Modelling**, Guildford, v. 33, n. 1, p. 597–604, 2009.

TOLOO, M.; TICHÝ, T. Two alternative approaches for selecting performance measures in data envelopment analysis. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 65, p. 29–40, 2015.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects: the 2015 revision**. New York: United Nations, 2015. Disponível em: < <http://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html> >. Acesso: 4 dez. 2018.

VOSVIEWER. **Software bibliográfico**. Disponível em: < <http://www.vosviewer.com/> >. Acesso em: 20 jun. 2018.

WEB OF SCIENCE. **Base de dados bibliográficos**. Disponível em: < <https://www.scopus.com/> >. Acesso em: 10 jun. 2018.

WEI, C.K. et al. Exploration of efficiency underestimation of CCR model: based on medical sectors with DEA-R model. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 38, n. 4, p. 3155–3160, 2011.

WILKINSON, J.M.; RINNE, M. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 73, n. 1, p. 40–52, 2018.

ZHOU, Z. et al. A generalized fuzzy DEA/AR performance assessment model. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford, v. 55, n. 11–12, p. 2117–2128, 2012.

APÊNDICE A

Tabela 1 – Parâmetros de entrada e saída das DMUs

DMUs/Variáveis	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	y_1	y_2
1	11.000	75.000	3	1.579	5	2	12	21	26	0	0	26.437	25.451
2	160.200	98.000	3	2.264	0	6	20	38	26	0	1	54.638	53.769
3	150.000	9.517	3	2.412	4	0	3	17	23	0	3	21.649	22.330
4	114.000	46.000	0	0	0	26	4	31	21	113	56	9.567	10.562
5	3.540	88.000	1	1.879	1	0	4	5	24	0	0	31.023	20.124
6	10.000	99.000	0	573	0	17	8	27	22	0	0	11.510	7.159
7	184.085	517	2	1.028	3	8	3	20	22	0	0	16.149	27.461
8	115.080	7.243	0	1.182	4	0	1	23	30	72	0	17.750	17.272
9	121.420	3.817	2	1.060	0	2	1	3	19	0	0	23.078	23.554
10	0	88.000	1	595	5	1	4	10	19	0	123	5.287	8.738
11	79.900	3.817	1	2.144	0	1	10	13	18	0	0	14.872	17.113
12	9.351	123.109	1	6.181	4	5	8	21	25	2	84	40.646	20.753
13	96.361	7.243	1	830	1	1	3	7	19	23	0	25.829	19.359
14	17.879	68.000	1	888	5	3	3	14	26	0	45	12.715	12.193
15	140.065	13.400	1	3.188	1	4	5	12	26	11	0	21.141	15.455
16	153.000	9.517	1	984	4	0	4	30	17	100	1	7.854	8.976
17	235.800	7.400	1	319	0	7	11	18	18	25	0	16.807	18.146
18	173.553	9.517	0	1.490	2	0	1	18	16	55	0	6.578	10.634
19	106.811	45.000	2	1.617	1	18	6	31	31	5	0	41.383	37.924
20	240.111	517	2	4.211	3	0	3	8	29	0	0	73.851	55.388
21	9.351	45.692	3	1.076	3	1	5	13	18	0	323	19.534	32.705
22	77.377	38.500	1	928	0	9	10	25	28	3	2	20.799	24.365
23	70.455	49.000	3	4.281	8	1	19	34	26	0	187	29.871	28.337
24	54.164	129.372	2	6.198	2	3	12	28	30	4	0	65.313	59.048
25	115.566	13.400	2	171	4	15	6	27	19	43	11	26.431	20.402
26	126.726	7.243	1	1.059	4	0	1	14	14	57	0	11.529	12.433
27	54.000	66.000	2	2.441	2	1	16	31	31	93	54	39.211	33.694
28	16.952	89.500	1	1.755	4	0	3	25	23	5	157	18.469	22.961
29	28.000	70.000	2	4.014	3	0	7	16	36	0	0	22.031	16.062
30	27.000	53.000	2	2.573	6	3	6	24	35	18	90	18.776	22.541
31	377.193	13.400	1	1.532	1	8	3	15	21	0	2	13.366	11.470
32	0	118.000	2	4.235	2	0	11	18	31	111	138	26.793	14.955
33	26.250	74.400	0	153	0	2	4	6	14	1	86	5.357	6.194
34	143.000	9.517	6	5.861	3	1	2	30	36	91	0	62.595	45.046
35	315.000	7.400	2	1.470	0	6	4	10	14	194	0	35.208	34.969
36	230.106	517	0	2.210	3	8	1	14	16	0	0	103.083	55.651
37	138.000	9.517	2	2.694	4	0	3	34	26	0	0	31.860	39.628
38	157.849	7.243	1	2.716	2	0	3	15	23	49	0	43.837	31.443
39	174.974	13.400	2	172	1	11	6	18	20	42	12	4.859	6.153

40	300.000	7.400	1	323	0	8	8	16	13	34	0	14.870	16.335
41	9.351	240.891	2	10.315	1	1	4	9	29	0	71	68.578	47.919
42	78.720	13.000	0	0	0	11	7	22	17	17	0	18.988	18.354
43	264.366	7.243	1	708	5	0	3	27	19	148	0	15.444	19.490
44	28.000	51.000	0	1.323	0	3	6	10	20	0	0	12.165	16.385
45	9.351	88.551	2	192	4	4	2	11	19	0	100	3.950	7.442
46	19.000	60.000	1	2.147	3	4	9	22	28	25	52	23.895	27.993
47	56.076	94.000	2	1.021	3	0	8	11	29	5	0	25.261	22.766
48	0	51.000	2	183	2	3	8	17	22	0	65	3.114	8.557
49	220.102	517	1	1.686	4	3	4	19	18	0	0	17.365	19.309
50	10.050	71.000	0	280	0	7	2	9	16	0	66	6.917	6.318
51	222.875	3.817	4	2.041	0	10	7	17	18	96	0	20.516	17.411
52	158.088	3.817	0	2.581	0	2	8	10	16	29	0	13.898	13.737
53	150.069	517	1	1.309	3	11	2	16	16	0	0	7.436	9042
54	0	72.600	2	1.962	2	0	2	5	24	0	222	27.568	19.376
55	224.011	13.400	2	16	1	0	1	2	12	0	0	180	26.843
56	224.011	13.400	2	5.134	3	0	3	8	33	3	3	83.731	50.359
57	156.375	3.817	1	418	0	12	4	16	16	57	0	19.707	21.177
58	18.000	79.000	2	3.849	3	2	14	25	28	0	0	34.746	31.232
59	9.351	66.020	1	2.555	4	8	10	23	21	0	273	17.109	17.452
60	9.351	94.125	1	2.601	1	1	5	11	23	0	5	18.433	16.238
61	140.065	3.817	1	0	0	15	4	20	17	1	0	7.406	11.744
62	19.255	120.000	1	1.483	4	0	4	11	26	0	308	14.534	20.877
63	239.200	7.400	1	1.988	0	18	18	42	20	90	2	43.033	41.669
64	9.351	128.919	4	2.833	2	3	5	12	25	0	347	28.189	27.268
65	14.161	169.500	0	5.343	2	0	26	33	18	0	0	43.600	38.929
66	160.074	517	1	78	2	23	5	41	18	1	0	20.163	23.882
67	315.000	7.400	1	364	2	2	4	8	8	81	0	4.300	19.236
68	52.000	60.000	3	1.801	6	0	13	25	25	3	62	26.911	25.142
69	668.800	7.400	3	4.785	1	8	7	17	12	0	0	58.369	41.460
70	20.043	70.000	1	1.291	6	1	13	36	30	8	62	10.951	12.237
71	157.653	7.243	2	1.260	5	0	3	19	20	0	0	9.030	12.873
72	12.000	93.100	1	1.211	0	1	5	7	26	0	70	18.046	24.900
73	16.022	87.650	0	678	3	0	6	11	21	0	0	5.426	5.005
74	44.504	74.900	2	404	3	4	14	25	21	2	7	12.649	13.415
75	147.795	7.243	0	1.661	5	0	1	13	15	197	0	10.557	12.113
76	85.974	36.478	2	370	3	4	9	17	24	0	0	16.077	14.180
77	9.351	83.892	1	807	1	4	6	13	15	0	98	6.655	10.567
78	0	79.500	3	1.466	4	0	1	14	23	0	166	28.869	18.018

Fonte: O Autor (2018)