



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS (DENG)
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO AMARO FELISBERTO

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA ENGENHARIA CIVIL

ANGICOS/RN
2020

LEONARDO AMARO FELISBERTO

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius
Sousa Rodrigues

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Aa Amaro Felisberto, Leonardo.
 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA
 ENGENHARIA CIVIL / Leonardo Amaro Felisberto. -
 2020.
 37 f. : il.

 Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa
 Rodrigues.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2020.

 1. Analise Envoltória de Dados. 2. Modelos
 matemáticos. 3. Gestão. I. Sousa Rodrigues, Prof.
 Dr. Marcus Vinicius , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LEONARDO AMARO FELISBERTO

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 04/12/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa Rodrigues (UFERSA)
Presidente

Profa. Ma. Andrea Saraiva de Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

Profa. Dra. Rejane Felix Pereira (UNILAB CE)
Membro Examinador

À Deus por ter guiado meus
passos durante este curso.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos.

Aos meus pais por acreditarem no meu potencial.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa Rodrigues, pela disponibilidade, cobrança e incentivo na elaboração deste trabalho.

A professora Ma. Andrea Saraiva de Oliveira por sua contribuição durante todo o curso de engenharia civil, sempre paciente e compreensiva. A minha admiração e gratidão.

A professora Dra. Rejane Felix Pereira por suas contribuições nesse trabalho.

Aos meus amigos da faculdade e demais familiares que sempre estiveram comigo durante as vitórias, e principalmente em momentos de dificuldades. A minha gratidão!

“Nenhuma Engenharia constrói caráter,
mas com caráter se faz os melhores
engenheiros.”

Jordan Lucas

RESUMO

Em uma sociedade marcada pela alta competitividade devido ao surgimento de demandas mais exigentes quanto à manutenção ao sucesso das organizações, surge a iminência de novas abordagens que buscam realizar o tratamento de dados específicos e assim avaliar a melhor eficiência nos processos produtivos, através dos desempenhos dos setores e unidades das organizações. Esse desempenho é determinado pelo retorno financeiro proporcionado, na maioria das vezes, pela utilização mais eficiente dos recursos em um processo produtivo, que pode ser projetado por meio da Análise Envoltória de Dados (AED), que vai gerar uma fronteira de eficiências, e assim, compará-las. Este estudo visa descrever a metodologia de Análise por Envoltória de Dados utilizando como embasamento teórico artigos, livros e dissertações, o que resultou em um trabalho que proporciona um conhecimento didático sobre AED e que pode ser aplicado em temas relacionados à gestão em diversas áreas, no entanto esta pesquisa investigou apenas aplicações na engenharia civil. Por fim, é necessário a realização de estudos mais atualizados para enriquecer mais o entendimento sobre o tema e consequentemente promover melhorias nas organizações.

Palavras-Chave: Análise Envoltória de Dados. Modelos matemáticos. Gestão.

RESUME

In a society marked by high competitiveness due to the emergence of more demanding demands regarding the maintenance and success of organizations, there is an imminence of new approaches that seek to carry out the treatment of specific data and thus evaluate the best efficiency in production processes, through performance sectors and units of organizations. This performance is determined by the financial return provided, in most cases, by the more efficient use of resources in a production process, which can be projected through Data Envelopment Analysis (AED), which will generate an efficiency frontier, and so on, compare them. This study aims to describe the methodology of Data Envelopment Analysis using as a theoretical basis articles, books and dissertations books, which resulted in a work that provides a didactic knowledge about AED and that can be applied in themes related to management in several areas, however, this research investigated only applications in civil engineering. Finally, it is necessary to carry out more up-to-date studies to further enrich the understanding on the topic and consequently promote improvements in organizations.

Keywords: Data Envelopment Analysis. Mathematical models. Management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 PRODUTIVIDADE, EFICIÊNCIA E EFICÁCIA.....	13
2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	16
2.2.1 Transformando uma DMU ineficiente em eficiente.....	20
2.2.2 Modelos matemáticos de AED.....	20
2.2.2.1 Modelo CCR	21
2.2.2.2 Modelo BCC	23
2.3 APLICAÇÃO DA ANALISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA ÁREA DA ENGENHARIA	25
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	30
4. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mundo vem passando por modernizações em diversos setores com intuito de possibilitar a redução dos custos e aumento da quantidade de serviços, ou seja, elevação da eficiência e melhora no processo produtivo (FERREIRA, 2017).

A partir da busca de maior eficiência, surge uma análise de critérios múltiplos ou Análise Multicriterial, que estuda várias variáveis simultaneamente partindo de um critério simples, otimizando a escolha adequada de processos para solucionar problemas de acordo com suas particularidades (MARTINS, 2016).

Os métodos multicritérios para análises aparecem como suporte para tomadas de decisões, permitindo selecionar a melhor opção por meio de comparações determinantes de índices e avaliações de critérios. Esse tipo de análise indica o caminho a ser tomado tendo representação numérica quanto à adversidade do ambiente e seus variados conflitos, possibilitando assim, a leitura de pontos que requerem atenção para efetivar mudanças e melhorias em seus processos.

A utilização da análise de multicritérios nas decisões acarreta em melhores formas de adaptação às mudanças, impedindo falhas de processo e consequentemente evitando atrasos de produção, ineficiência, entre outros (NASCIMENTO, 2017).

A partir da Análise Multicriterial é possível, por meio de comparações, realizar a análise de eficiência, comparando um valor padrão e um valor real de desempenho. Partindo do princípio em que é estabelecido um nível de eficiência, constitui-se assim, um valor padrão que servirá como parâmetro de análise para os valores reais de desempenho. É através dessa comparação que pode ser compreendido a relação do que deve ser produzido ou meta a ser atingida com os meios e recursos disponíveis utilizados, distinguindo eficiência de eficácia (CAMPOS, 2017).

Uma das formas possíveis de realizar a medição da eficiência de um processo produtivo é através da Análise Envoltória de Dados (AED). Este tipo de análises de dados já está sendo utilizada em diversas áreas de produção, consistindo em uma técnica não paramétrica e que tem por finalidade analisar o gerenciamento das Unidades Produtivas que exercem atividades destinadas a terceiros, e assim diversas melhorias nas práticas produtivas (GIACOMELLO; OLIVEIRA, 2014).

A AED realiza comparações entre as unidades, fornecendo dados e informações quantitativos sobre possíveis comandos para melhorar o desempenho das unidades que tem capacidade de serem mais eficientes ou até mesmo, melhorar o desempenho das unidades ineficientes (GIACOMELLO; OLIVEIRA, 2014).

Ainda segundo Giacomello e Oliveira (2014), o conjunto de Unidades Produtivas que passaram a ser chamadas de Unidades Tomadoras de Decisões mais conhecida com UTD's devem possuir características homogêneas contendo informações de entrada, no caso o insumo, e saída, que é o produto, tendo ainda a curva de eficiência ou máxima produtividade como produto de Análise Envoltória de Dados considerando a relação ótima de entrada/saída.

As variáveis do meio produtivo podem não permitir que lhes sejam atribuídos valores reais de forma precisa e objetiva. Colocar pesos baseando-se apenas na avaliação do tomador de decisões poderá inserir obliquidade no modelo que comprometerá toda a confiabilidade dos resultados. Assim, diante do que foi exposto a presente pesquisa terá como problema: O que a ferramenta AED (Análise Envoltória de Dados), pode revelar sobre a eficiência das unidades produtoras?

O presente estudo tem como objetivo geral apresentar a aplicação da Análise Envoltória de Dados para melhoria da eficiência em diversos processos na Engenharia Civil. E diante do objetivo geral proposto, têm-se os seguintes objetivos específicos: descrever a metodologia de Análise Envoltória de Dados, apresentar os conceitos técnicos de eficiência e produtividade, demonstrar a importância da AED para mensurar produtividade.

Diante da importância de se fazer um planejamento dentro de toda empresa ou instituição pública, é indispensável a avaliação da eficiência nos processos produtivos para maior sucesso e atingir as metas estipuladas. Isso devido a facilidade da utilização da AED nos processos produtivos, com destaque para processos da engenharia civil.

A técnica AED recebeu contribuição de diversos autores que tinham como objetivo, resolver problemas específicos, mensurando a eficiência relativa de diversas organizações. Uma notável e não menos importante contribuição, foi a criação do modelo que permite considerar retornos variáveis de escala (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo está estruturado em tópicos com contextualização sobre o tema estudado, apresentando conceitos fundamentados de acordo com o desenvolvimento do referencial teórico.

Serão abordados alguns tópicos através de uma breve discussão teórica acerca do tema proposto, atribuindo definições para produtividade, eficiência e eficácia, realizando também uma abordagem sobre Análise Envoltória de Dados, expondo também alguns modelos matemáticos de AED e também citando alguns trabalhos em que foi empregado a AED na construção civil.

2.1 PRODUTIVIDADE, EFICIÊNCIA E EFICÁCIA

A produtividade vem de um conjunto de possibilidades de produção existentes em determinados setores que formam a fronteira de eficiência, ou seja, todos os pontos possíveis de produzir algo, variando para mais ou para menos de acordo com a necessidade (NOGAMI, 2012).

Para Coelli et al. (1997), a produtividade é conceituada como a relação entre quantidade de insumo necessária para produção de determinada quantidade de produto. Ou seja, é a relação entre as saídas obtidas de acordo com uma certa quantidade de entradas.

Em outras palavras, a produtividade é uma denominação genérica de um indicador que mede a rentabilidade dos recursos utilizados na produção. Uma razão entre a quantidade produzida e o que foi gasto para produzir, contendo unidades de medidas que difere em cada caso, sendo resultado da divisão de duas quantidades diferentes (FERREIRA, 2017).

A produtividade pode ser determinada pela expressão 1, é um indicador imprescindível para medição do grau de desempenho de uma unidade produtiva (HONGLAN; RUYUN; XIAONA, 2014).

A expressão 1, calcula a produtividade total e pode ser dada como:

$$\text{Produtividade Total} = \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_i}{\sum_{j=1}^n V_j X_j} \quad (1)$$

Onde:

U_i = utilidade do produto i ;
 V_j = utilidade do insumo j ;
 X_j = quantidade do insumo j ;
 Y_i = quantidade do produto i ;
 m = número de produto;
 n = número de insumo.

De acordo com Campos (2017) a produtividade é um critério que revela a eficiência de uma dada produção, correlacionando os recursos utilizados com os resultados obtidos evitando o desperdício, fazendo o uso do mínimo de insumos para produzir. Assim, quanto maior os resultados obtidos com a mesma quantidade de recursos, mais produtivo o sistema é, consequentemente mais eficiente ele é, constatando assim que a produtividade é diretamente relacionada com quantidade (CAMPOS, 2017).

Para Campos (2017), a avaliação da eficiência por meio da medição da produtividade, pode gerar um crescimento da produção bem-sucedido, visando a elevação dos processos produtivos possuindo as mesmas quantidades de recursos para serem empregados. O resultado obtido através da avaliação de eficiência pode guiar a organização quanto a economia de recursos, reduzindo-os, utilizando-os e mantendo-a nos níveis de produção.

A fronteira de eficiência é uma ferramenta que demonstra variadas combinações prováveis de bens e serviços que podem ser produzidos, de acordo com os dados e recursos disponíveis que podem ser dispostos na forma de gráfico, indicando quais os pontos são considerados positivos e os pontos que são considerados ineficientes (CASA NOVA; SANTOS, 2008).

Para melhor entendimento quanto ao uso da fronteira de eficiência, é importante observar a Figura 1, os pontos são as unidades de produção executadas pela organização em análise, e a linha corresponde a curva de produção eficiente que é a fronteira de eficiência. Os pontos sob essa curva, representados no gráfico pelos pontos azuis, indicam que a organização analisada possui uma fronteira de eficiência satisfatória e que o plano de produção não foi superado pela relação entre insumos e produtos. Já os pontos em vermelho, abaixo da curva de eficiência, podem representar os planos ou unidades de produção que foram classificados como ineficientes. Ou seja, são planos de produção que apresentam deficiência no ato de produzir de acordo com AED, onde não acontece uma relação adequada entre a quantidade de insumos e produtos, havendo desperdício ou qualquer outra ocorrência que afete o processo produtivo e o resultado do balanço final da organização.

Figura 1 - Fronteira de Eficiência.

FONTE: AUTOR.

A eficiência, por sua vez, é obtida através da avaliação da comparação entre a produtividade observada e a produtividade máxima que poderia ser atingida. Dessa forma, a AED se baseia nos princípios da eficiência como fator para obtenção de sucesso das metas esperadas (GIACOMELLO; OLIVEIRA, 2014).

Em outras palavras, a eficiência é a perfeita relação entre os insumos e produtos, havendo a comparação do que foi produzido, baseado nos recursos que estão dispostos, com o que poderia ter sido produzido com os recursos existentes sem variação de quantidade (OLIVEIRA; MACEDO; CORRAR, 2011).

Segundo Farrell (1957 apud MELO, 2019), existe três tipos de eficiência, a técnica, a alocativa e a econômica. A Eficiência Técnica ou Produtiva dispõe de habilidades que uma empresa possui de obtenção de produtos a partir da variedade de insumos. Ou seja, é a habilidade que a Unidade Tomadora de Decisão (UTD), tem de obter o máximo de saídas para uma dada quantidade mínima de entrada.

A eficiência técnica é relacionada ao uso mais adequado de recursos de uma área distinta que pode tratar de projetos de qualquer natureza determinando aquilo que é tecnicamente eficiente (PINTO, 2013).

Já a Eficiência Alocativa é a capacidade que uma UTD possui de fazer uso de seus insumos em proporções adequadas de acordo com os preços e custo da produção. Em contrapartida, há ocorrência de Ineficiência Alocativa quando é empregado insumos em grandes quantidades, onde não acontece a minimização dos custos (PEREIRA, 2014).

Segundo Farrell (1957 apud MELO, 2019), esse tipo de eficiência proporciona de forma hábil da firma utilizar responsavelmente os insumos nas melhores proporções, dados os seus preços relativos. Isso reflete na diferença entre a mesma quantidade de insumos inicial, em que a firma estaria produzindo sobre a fronteira e o ponto, além de também produzir sobre a fronteira, no qual acarretaria na maximização dos lucros.

No que se refere ao conceito de eficácia Ferreira (2017), diz que ela está relacionada apenas ao que é produzido em cumprimento aos objetivos traçados, sem considerar a quantidade dos recursos usados para a produção, sendo a mesma eficaz de acordo com a aproximação das metas estabelecidas subsequentes dos resultados obtidos. A eficácia tem como objetivo fazer as coisas certas, escolher as práticas corretas, mesmo sendo uma medida normativa do alcance dos objetivos. A eficácia estuda o que é produzido, sendo capaz de alcançar uma meta de produção (PINTO, 2013).

Por fim, Eficácia pode ser definida como a capacidade de atingir um resultado almejado, que pode ser demonstrado de forma quantitativa (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018). A presente pesquisa entrará mais a fundo no tema de Análise Envoltória de Dados afim de revisar metodologicamente suas considerações e composições com finalidade de obter resultados que satisfaçam os objetivos que serão discutidos ao longo do trabalho.

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Constantemente são realizadas pesquisas para obter as informações pertinentes a eficiência dos processos produtivos de empresas e instituições, sendo necessários ferramentas tecnológicas, fórmulas matemáticas e conceitos teóricos para realizar comparativos mediante a produção.

Para avaliação dos níveis de eficiência de determinado setor, foi criado a Análise por Envoltória de Dados – AED, que surgiu na década de 70, com os primeiros estudos e análises realizados por Charnes, Cooper e Rhodes de 1978 que também criaram o modelo CCR para auxiliar a AED. Essa análise consistiu em promover a aplicação de programação linear para dar uma estimativa empírica de uma fronteira para a eficiência da produção. Até os dias atuais, esse tipo de análise é utilizado em

diversos setores como avaliação de bancos, companhias aéreas e organizações públicas e privadas (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

Inicialmente, a AED surgiu exclusivamente para fins produtivos, tendo atualmente uma aplicação variada que engloba diversos setores, seja na engenharia civil, seja na medicina, entre outros somando um número total de 27 campos de aplicação. Isso possibilitou a evolução do AED que permitiu identificar cada vez mais eficiência nos locais em que foi inserida (ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO, 2006).

Existem diferentes modelos paramétricos criados antes da AED como a regressão linear e o Analytic Hierarchy Process (AHP). Os modelos criados em conjunto com os anteriores ou tomando como princípios os modelos anteriores na AED são orientados tanto aos insumos quanto aos produtos. Ou seja, a quantidade ideal de recursos que pode ser usado para atingir um resultado almejado ou a quantidade de produtos que deveriam ser produzidos com os recursos que já possuem para resultado satisfatório (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

Com isso, é imprescindível a escolha de um modelo apropriado, tomando como base as variáveis que podem e devem ser controladas pelos responsáveis das operações avaliadas (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

De acordo com Bogetoft e Otto (2011), os dois modelos clássicos considerados como pilares de toda a AED são: Modelo CCR ou CRS (Constant Returns to Scale) e o Modelo BCC ou VRS (Variable Returns to Scale). Os mesmos são modelos matemáticos utilizados em cálculos das organizações.

Segundo Ramos, Souza & Mendonça (2019), para aplicação da Análise Envoltória de Dados, alguns componentes essenciais são necessários, conforme pode ser visto a seguir:

- Utilizar para AED o modelo CCR ou BCC;
- As UTD's devem ser de mesma natureza;
- Os insumos/recursos (entradas);
- Os produtos/resultados (saídas);
- Definir o tipo de orientação: para insumos ou produtos.

A comparação da eficiência de uma empresa era melhor quando se fazia possível visualização dos melhores níveis até então observados do que vistos como um tipo de ideal inatingível. Com isso, Charnes, Cooper e Rhodes incrementaram o estudo de Farrell para múltiplos recursos e resultados, atendendo assim indicadores

de eficiência criado por Koopmans, dando origem assim à técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva denominada como Análise Envoltória de Dados (MELO, 2019).

A vantagem do uso AED consiste no fato de ser utilizado a eficiência relativa, sem que haja prejuízo às unidades, podendo existir mais de uma unidade classificada como eficiente, compondo a fronteira de eficiência relativa e sendo base de referência para a atuação das demais unidades produtivas. Já quando existem unidades ineficientes, a AED pode possibilitar contribuições para melhoria, estabelecendo metas de atuação, se precavendo de fatores que contribuiriam para baixo desempenho e acarretando em desmembramentos de setores sugerindo pontos específicos para atuação (GIACOMELLO; OLIVEIRA, 2014).

A técnica AED se baseia nas Unidades Tomadoras de Decisões – UTD's, relacionando a capacidade de produzir “saídas” (produtos), utilizando apenas um determinado número de “entradas” (insumos), definindo então que outras unidades sejam possivelmente capazes de fazer o mesmo, caso elas estivessem atuando eficientemente. Essa metodologia utiliza as UTD's de acordo com as melhores práticas para construir a partir delas a fronteira de produção empírica, chamada de fronteira eficiente (MELO, 2019).

Quanto a fronteira de eficiência representada pelos pontos azuis na figura 1, são as unidades que conseguem o aproveitamento máximo dos insumos na produção dos produtos, ou seja, conseguem produzir mais saídas proporcionalmente ao aumento de entradas, ou seja, é aquela que consegue maximizar os resultados minimizando os recursos (OLIVEIRA et al., 2017).

Em outras palavras a fronteira de eficiência da produtividade é conceituada como a quantidade máxima de produtos (saídas/produtos), advindas por meio da relação dos recursos (entradas/insumos) usados no processo produtivo. Por meio da análise das entradas e dos resultados obtidos de saídas, é possível demarcar uma fronteira das unidades produtivas com maior eficiência que são os pontos azuis da figura 1 para assim, verificar e identificar quando e quais as UTD's que podem estar abaixo de tal fronteira e no caso da figura 1 está representada pelos pontos vermelhos (OLIVEIRA et al., 2017).

Assim, para a avaliação da eficiência de UTD's, utiliza-se um modelo direcionados à análise de resultados, maximizando os produtos com insumos fixos,

ou pode avaliar a eficiência através de um modelo orientado aos insumos, que visa minimizar as entradas mantendo as saídas fixas.

Segundo Melo (2019), a variação da produção em relação a variação dos recursos recebe o nome de retorno de escala, que expõem dados na medida em que a escala de produção eleva todos os níveis de entrada que são variáveis. O retorno de escala surge na produção de uma empresa, explicando o comportamento da taxa de aumento das saídas relacionadas junto ao aumento associado nas entradas, sendo que todos os fatores de produção são considerados como variáveis e sujeitos a mudanças de acordo com o aumento na escala.

É possível definir os retornos de escala como crescentes, constantes e decrescentes. No retorno de escala crescente, acontece um aumento no número de insumos que acarreta em um aumento desproporcional elevado no número de produtos devido a UTD operar abaixo de sua escala ideal, com isso é necessário elevar a produção para resultar numa maior produtividade (MELO, 2019).

No retorno de escala constante há um aumento no número de insumos ocasionando um aumento proporcional nos produtos, devido a UTD operar em escala ótima, devendo permanecer na mesma escala de produção. Por fim, um retorno de escala decrescente, ocorre o aumento do número de insumos gerando uma elevação desproporcional menor no número de produtos em que a UTD está operando acima da sua escala ótima, assim, é necessário a diminuição da produção para ser mais produtivo (MELO, 2019).

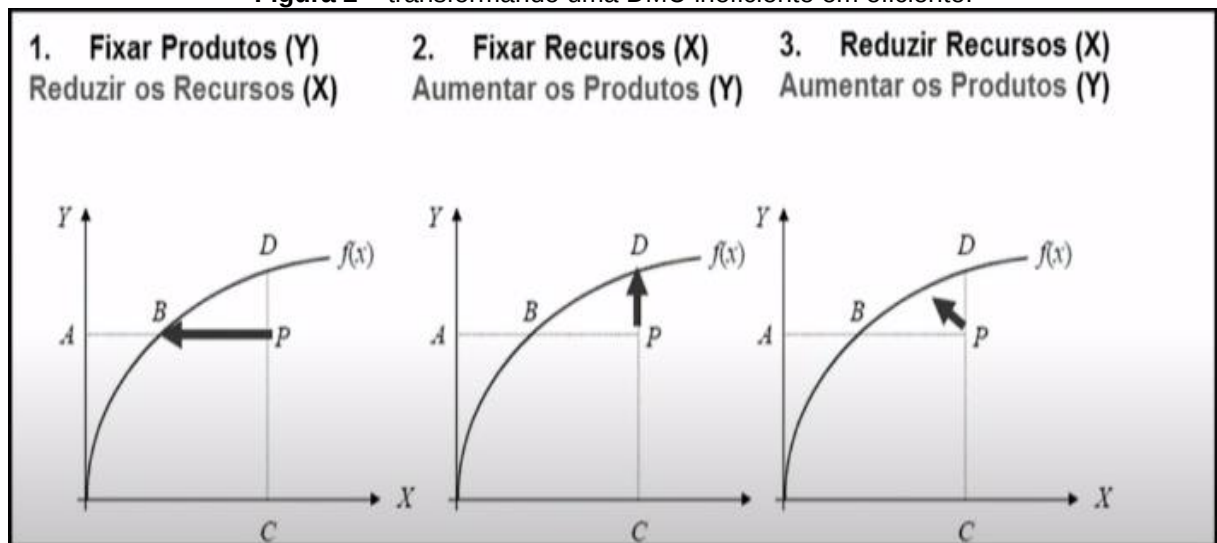
Com os possíveis retornos constantes de escala, foi proposto o primeiro modelo AED, conhecido como CCR com a avaliação da eficiência formulada por um problema de programação linear, com restrições representando o conjunto de possibilidades de produção (CPP), com objetivo de expressar o modelo orientado ao insumo ou o modelo orientado ao produto (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

Os estudiosos Banker, Charnes e Cooper, implementaram no modelo AED uma combinação linear convexa restrita ao modelo CCR, criando o modelo BCC que são as siglas dos nomes de Banker, Charnes e Cooper que idealizaram os retornos variáveis de escala – VRS, ou seja, retornos crescentes (IRS) ou decrescentes (DRS) de escala. No modelo BCC, são consideradas tecnicamente eficientes as unidades avaliadas que tenham capacidade de usar o menor volume de insumos ou que sejam capazes de produzirem a maior quantidade de um dado produto (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

2.2.1 Transformando uma DMU ineficiente em eficiente

Existe três formas de transformar uma DMU ineficiente em eficiente como mostra a figura 2: fixar os produtos Y e desenvolver estratégias para reduzir a quantidade de recursos x utilizados, fixar os recursos x e aumentar os produtos Y , reduzir os recursos e aumentar os produtos Y simultaneamente, fazendo a DMU atingir o máximo de eficiência mais rapidamente.

Figura 2 – transformando uma DMU ineficiente em eficiente.



FONTE: PESQUISA... (2017)

2.2.2 Modelos matemáticos de AED

Os modelos de AED podem ser orientados de duas formas: insumo ou produto. Ou seja, como foi afirmado anteriormente, a eficiência no modelo AED pode ser medida pela divisão da soma dos produtos (saídas), de acordo com seus pesos, pela soma do produto dos insumos (entradas), também de acordo com seus pesos. Melhor dizendo, o insumo virtual dividido pelo produto virtual. Destarte, sua eficiência pode ser elevada por meio da maximização dos produtos e também pela minimização dos insumos (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

Os modelos orientados ao insumo buscam conseguir um menor uso de insumos relacionados com os níveis de produtos, isto é, a partir do momento que a eficiência é atingida por uma redução proporcional de entradas, mantendo as saídas constantes. Quanto aos modelos orientados a produtos, tem como objetivo a busca por obter o maior nível de produtos conservando os insumos fixos, para assim,

maximizar os resultados sem aumentar os recursos (GIACOMELLO; OLIVEIRA, 2014).

É possível observar uma função de produção não paramétrica através de estimativas constituídas de múltiplos insumos e produtos. Com isso, é aceitável que a geometria de uma envoltória seja relacionada a escolha do modelo da AED, sendo necessário um estudo minucioso por um profissional capacitado para assim, decidir qual o modelo que se encaixe da melhor maneira para ser utilizado.

2.2.2.1 Modelo CCR

O modelo CCR, trabalha com retornos constantes de escala tendo em sua formulação matemática a assertiva de que cada Unidade Tomadora de Decisão (UTD), o k é uma unidade de produção que utiliza n insumos X_{jk} , $j=1, n$, para produzir m produtos Y_{ik} , $i=1, m$. Nesse modelo acontece a maximização do quociente por meio da combinação linear dos produtos e também a combinação linear dos insumos (BEZERRA et al., 2015).

Como individualidade particular do modelo CCR existe a diminuição no número de produtos e insumos em cada UTD para apenas um produto previsto e também apenas um insumo previsto. Para uma UTD, a razão existente em meio ao produto previsto e o insumo previsto, disponibiliza um grau de eficiência relacionada aos multiplicadores. Tal grandeza será elevada, constituindo-se como um objetivo para a UTD, a ser avaliada (CHARNES; COOPER; RHODES, 1996).

No Modelo CCR é considerado toda e qualquer variação nas entradas passíveis de produzir variação proporcional nas saídas. Sua eficiência é dada através da otimização da divisão entre número correto das saídas e número correto das entradas, onde cada UTD escolhe os pesos para cada variável seja ela de entrada ou de saída, levando em consideração que os pesos aplicados às outras UTD's não criem uma razão superior a 1 (GUERRA, 2011).

A seguir, conforme Barbosa & Fuchigami (2018), tem-se uma representação orientado ao insumo:

$$Max\ Ef0 = \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i0}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j0}} \quad (2)$$

Em que:

Ef_0 = eficiência da UTD₀

Y_{i0} = quantidade de produto i da UTD em análise;

X_{j0} = quantidade de insumo j da UTD em análise;

Por ser uma medição junto a eficiência, o resultado deverá estar situado entre 0 e 100% (0 e 1), que com a inserção de uma restrição ao modelo o mesmo está sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{jk}} \leq 1 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z \quad (3)$$

Segundo Bezerra et al. (2015), o modelo visto acima disponibiliza diversos resultados situados entre 0 e menor ou igual a 1. E com isso Charnes, Cooper e Rhodes (1978), propuseram um modelo de propagação linear, onde foi adicionado outra restrição afim de limitar os insumos através dos seus pesos para o valor 1. Desta forma, com a adição de mais uma restrição, tem-se agora:

$$\text{Max } Ef_0 = \sum_{i=1}^m u_i y_{i0} \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} &\leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z \\ u_i \text{ e } v_j &\geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Para o modelo orientado a produtos, acontece a maximização das saídas mantendo inalteradas as entradas. Nele, as variáveis de decisão são iguais às do modelo orientado ao insumo. No entanto, todos os produtos devem ser multiplicados, mantendo-se constantes os recursos, para a UTD atingir a fronteira eficiente (OLIVEIRA et al., 2017).

Assim, podemos perceber que a eficiência da própria UTD será um valor superior a 1. No caso do modelo CCR, as duas orientações resultam no mesmo valor de eficiência, no entanto, com u_i diferentes (GUERRA, 2011).

A seguir, temos uma representação do modelo orientado ao produto:

$$\text{Min } Ef_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^n u_j y_{j0}} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^n u_j y_{j0}} \leq 1 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z$$

Que com a proposta realizada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), transforma-se em:

$$\text{Min Ef0} = \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m u_i y_{i0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} &\leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z. \\ u_i \text{ e } v_j &\geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Variáveis de acordo com Bezerra et al. (2015):

U_i = utilidade do produto i ;	Y_{i0} = quantidade de produto i da UTD em análise;
V_j = utilidade do insumo j ;	Z = número de unidades em avaliação;
X_{jk} = quantidade do insumo j da UTD k ;	m = número de produtos;
Y_{ik} = quantidade do produto i da UTD k ;	n = número de insumos.
X_{j0} = quantidade de insumo j da UTD em análise;	

As equações apresentadas na equação 5, demonstram um modelo AED orientado a produtos na forma fracionária e mostra na equação 6, o modelo linearizado.

É importante frisar que o modelo multiplicador aborda a relação das somas ponderadas de produtos e insumos com os pesos selecionados de modo a ser cada vez mais favorável a cada UTD analisada.

2.2.2.2 Modelo BCC

Como elencado anteriormente, esse modelo que recebeu o nome de seus criadores, no caso Banker, Charnes e Cooper (BCC), troca a sentença de equiparação entre entradas e saídas pela sentença de concavidade, adjunta às condições que servem como fatores de escala, retornos decrescentes de escala quando é representada negativamente, retornos constantes quando nulos e por fim positivo que são os retornos crescentes de escala (COSTA, 2017).

O BCC é um modelo que utiliza o retorno variável de escala (VRS), com intuito de impedir problemas reais em ocorrências de competição imperfeita, fazendo uso na possível ocorrência de VRS, de características crescentes, decrescentes ou constantes (PACHECO, 2015).

A UTD fonte para análise pode estar em escalas com retorno crescente, ou decrescente. Particularmente falando, as UTD's eficientes analisadas não carecem por apresentar proporcionalidade igual entre produto e insumo elevando assim o número de unidades eficientes em relação ao modelo CCR (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018).

Caso se pretendesse maximizar, a formulação do modelo BCC é a seguinte:

$$\text{Max Ef0} = \sum_{i=1}^m u_i y_{i0} - u \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} &\leq 1 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z \\ u_i \text{ e } v_j &\geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

A expressão do BCC, visando linearizar será dada pela formulação a seguir:

$$\text{Min Ef0} = \sum_{j=1}^n v_j x_{j0} - v \quad (8)$$

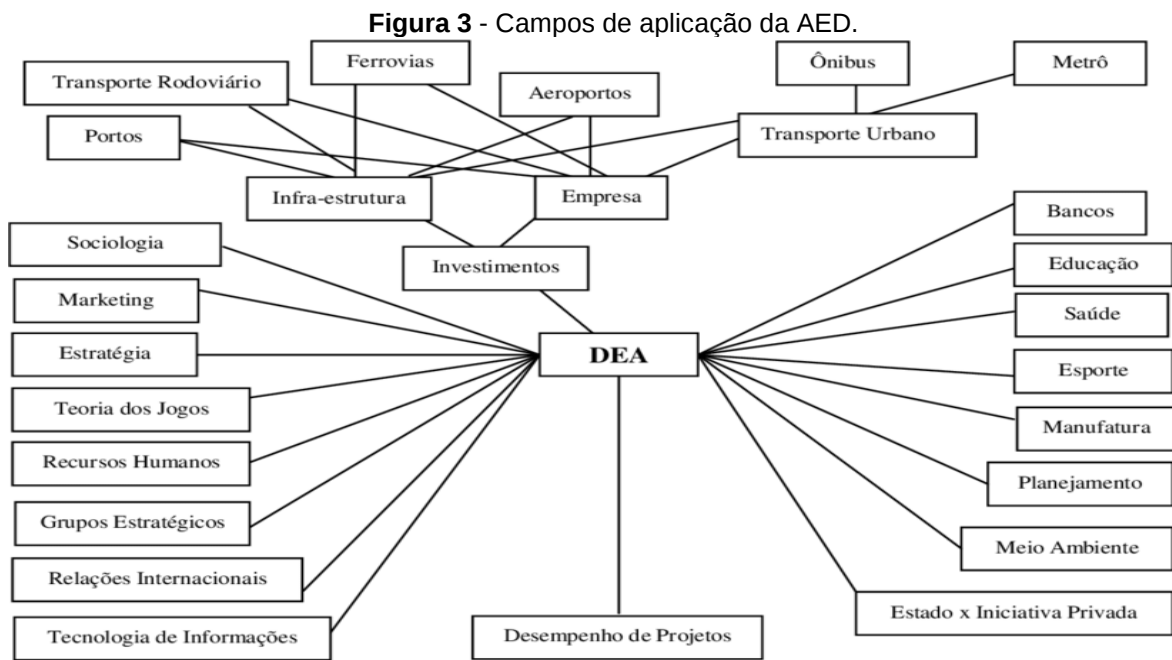
Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m u_i y_{i0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j x_{jk} &\leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, Z \\ u_i \text{ e } v_j &\geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Por fim, é importante frisar que o modelo BCC surgiu a partir da decomposição do modelo CCR em duas componentes: a eficiência técnica que relaciona a produção de determinado produto com o mínimo de insumos possíveis e a eficiência de escala que pode ser obtida a partir do momento em que existe uma procura por ajustes que tornem a produção mais eficiente (PEREIRA, 2014).

2.3 APLICAÇÃO DA ANALISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA ÁREA DA ENGENHARIA

A aplicação da Analise Envoltória de Dados pode ser usada em diversos campos de atuação. A figura 3, mostras variadas situações em que pode-se fazer uso da AED:



FONTE: ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO (2006).

A AED pode ser aplicada em diferentes atividades de execução, campos de atuação e finalidades, como demonstrado na figura 3, o que pode comprovar que sua aplicação pode conter um grau de importância devida para a situação em que a mesma é inserida.

O trabalho de Barreto (2010), intitulado de Aplicação da Analise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação da eficiência de ações gerenciais para redução de desperdícios em obras de construção civil, objetivou demonstrar a área gerencial em que deve-se concentrar as ações e tomadas de decisões visando uma maior eficiência. Ou seja, procurou aumentar a eficiência na redução da quantidade de desperdício quando executado na construção de empreendimentos imobiliários.

Barreto (2010), utilizou a metodologia AED e consequentemente o modelo BCC, que identificou as melhores áreas gerenciais para reduzir o desperdício. Isso foi possível devido ao estudo de obras de forma separadas, levando em conta a atribuição de pesos e fatores.

O resultado obtido por Barreto (2010), mostrou que nessa área específica, que o indicador de redução de desperdícios não proporciona retornos de escala, em outras palavras, a proporção igualitária entre insumos e produtos. E com isso, o modelo BCC foi o mais apropriado para construção da fronteira de eficiência.

Destarte, Barreto (2010), concluiu que os resultados encontrados na pesquisa, são essenciais para os responsáveis de áreas gerenciais de obras visando implementar ações que minimizem o desperdício.

Nesse caso específico a aplicação da AED permitiu identificar ações que possivelmente poderiam diminuir o desperdício de insumos, consequentemente, produzindo resíduos que destinados para outras finalidades, não acarretará em um retorno constante de escala mais que por meio do modelo BCC será possível a criação da fronteira de eficiência com modelo orientado ao produto visando a diminuição de desperdício de insumos.

No trabalho de Oliveira & Francischetti et al. (2017), intitulado de Análise da Eficiência das Empresas de Construção Civil listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados, foi realizado a aplicação da AED para determinar a eficiência de unidades tomadoras de decisões diante das características particulares de cada empresa, com intuito de melhorar o desempenho produtivo baseando-se em planejamentos e estratégias.

O autor verificou a eficiência das empresas do setor da construção civil entre 2011 e 2015 listadas na BMF&Bovespa, das quais operam em eficiência de acordo com o modelo AED. Nesse caso, a escolha do modelo foi a AED-CCR orientado ao produto, permitiu constatar qual empresa nacional do ramo da construção civil é mais eficiente e qual a menos eficiente. Com isso, através dos resultados obtidos se faz necessário para as empresas menos eficientes como solução, a elevação de valores nos seus produtos afim de se obter retorno.

O autor concluiu a partir do grau de eficiência que foi considerado baixo, por meio da aplicação da AED, que as empresas com dificuldades de retorno deverão estabelecer metas calculadas e novas estratégias de investimentos para assim poder reverter o quadro e a partir disso, ser eficiente (OLIVEIRA; FRANCISCHETTI et al., 2017).

A aplicação da Analise Envoltória de Dados e consequentemente, seus respectivos modelos e suas variações podem acarretar maiores benefícios para as organizações em que serão inseridas independentemente do modelo escolhido,

visando a busca por diminuir cada vez mais o número de unidades tomadoras de decisões, porém aumentando a exigência das mesmas para que possam com maior facilidade se tornarem mais eficientes.

No trabalho intitulado de Aplicações da Análise Envoltória de Dados em sistemas de transporte público de passageiros, dos autores Santos, Moraes Neto & Ferreira (2007), utilizaram a Análise Envoltória de Dados para determinar a eficiência de sistemas de transportes públicos de passageiros.

Nesse trabalho os autores fizeram a análise da eficiência utilizando tanto o modelo CCR quanto o modelo BCC, tomando como base uma revisão de literatura de trabalhos científicos e constataram a partir dos resultados obtidos que é evidente o potencial dos métodos na medição da eficiência.

Os resultados obtidos evidenciaram as unidades de maior eficiência no ato de transformar insumos em produtos. Ou seja, transformar insumos em melhores serviços frente ao transporte de passageiros, além de mostrar as unidades que ainda podem ser melhoradas quanto a utilização de recursos de produção.

Por fim, os autores Santos, Moraes Neto & Ferreira (2007), indicam que aplicação do método na avaliação da eficiência de empresas brasileiras de transporte rodoviário interestadual de passageiros, foi de fundamental importância e que sua produção poderá ser usada como referências para trabalhos futuros. Assim, a proposta de aplicação da AED em diferentes campos de atuação pode ser considerada imprescindível, pois os resultados apresentados por meio da análise de eficiência obtida por meio dos modelos CCR e BCC, trazem a realidade e o que pode ser melhorado em qualquer campo de atuação.

Prova de que a AED pode ser aplicada em diversos campos, é visto também no trabalho de Freire (2013), que tem como título Avaliação da eficiência da coleta seletiva no estado do Rio Grande do Norte: um estudo com a análise envoltória de dados (DEA). O autor utilizou a AED, com auxílio do modelo VRS ou BCC, para buscar indicadores de referência da coleta seletiva no Rio Grande do Norte, tendo como resultados obtidos a real eficiência técnica relativa, sua evolução entre 2008 e 2012, entre outros.

Por meio da análise de eficiência Freire (2013), concluiu que os municípios em sua grande maioria, tinham unidades ineficientes, mas com o tempo se adequaram de maneira que o uso dos insumos na produção foi corrigido e assim, apresentaram

condições de eficiência, tendo como principais cidades referencias de sucesso Arez e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte.

Tomando como base o trabalho de Rodrigues et al (2015), intitulado Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará, foi possível aplicar a AED para identificar dentre diversas unidades produtivas quais poderiam servir como instrumento de análise e medição de eficiência.

Nesse trabalho foi entendido que para a avaliação da eficiência, seria necessário a análise multicritério junto a diversos fatores executados simultaneamente. Com o modelo BCC orientado ao produto, visando obter dados para cálculo dos desempenhos relativos frente ao desempenho relativo da cobrança nas principais categorias de uso das bacias do Estado, com auxílio da ferramenta computacional SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão).

Rodrigues et al (2015), concluiu através da análise que o setor industrial em todo o Ceará se destaca na ordem de maior eficiência se comparado aos demais estados brasileiros. Porém, em algumas unidades produtivas há a ocorrência de eficiência considerada baixa.

Por fim, Rodrigues et al (2015) pode concluir que o modelo de análise multicritério mostrou-se dinâmico, chegando-se assim a uma análise que trouxe o diagnóstico claro do tema abordado frente ao Estado do Ceará.

Foi possível constatar a importância da AED como ferramenta imprescindível, e necessária em qualquer campo de atuação para promoção de análises que demonstrem a realidade de cada processo produtivo. Também é importante salientar que todos os autores promoveram seus trabalhos, definindo-os como metodologia base para confecção de novos trabalhos, assim como destacaram a importância da realização de mais pesquisas para enriquecer mais o tema Análise Envoltória de Dados.

Em resumo tem-se no quadro 1 os trabalhos com aplicações de AED na área de engenharia civil.

Quadro 1 - Aplicações da AED no campo da engenharia civil.

AUTORES	TÍTULO	ÁREA	ANO
BARRETO, A. M.	Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação da eficiência de ações gerenciais para redução de desperdícios em obras de construção civil	Gerenciamento de desperdícios em obras da construção civil	2010
OLIVEIRA, J. A. J.; FRANCISCHETTI, C. E.; GALEANO, R.; PADOVEZE, C. L.; IGNÁCIO, P. S. A.	Análise da Eficiência das Empresas de Construção Civil listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados.	Gerenciamento da eficiência das empresas do setor da construção civil entre 2011 e 2015 listadas na BMF&Bovespa.	2017
SANTOS, P. F.; MORAIS NETO, G. C.; FERREIRA, C. M. C.	Aplicações da Análise Envoltória de Dados em sistemas de transporte público de passageiros	Gerenciamento de sistemas de transportes públicos de passageiros	2007
FREIRE	Avaliação da eficiência da coleta seletiva no estado do Rio Grande do Norte: um estudo com a análise envoltória de dados (DEA)	Gerenciamento da coleta seletiva no estado do Rio Grande do Norte	2013
RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D.; THOMAZ, A. C. F.	Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará	Gerenciamento de recursos hídricos	2015

Fonte: Adaptação do autor (2020).

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo será por intermédio de pesquisas, visando buscar soluções e contribuições, através de regras, procedimentos e métodos afim de obter sucesso almejado.

De acordo com Fonseca (2002), métodos é a organização, estudo sistemático, pesquisa, investigação, ou seja, metodologia é a instrução para a realização de uma pesquisa ou estudo. Assim, Andrade (2010), diz que metodologia pode ser caracterizada como um grupo de métodos utilizados diretamente para pesquisa do conhecimento, auxiliando na sistemática para chegar aos resultados pertinentes.

Partindo disto, os métodos que serão utilizados no trabalho de conclusão de curso para fundamentar o desenvolvimento do problema proposto, será por meio do entendimento dos objetivos da classificação da pesquisa. Assim, quanto a natureza da pesquisa, a mesma é considerada qualitativa que permitirá a compreensão e interpretação de um fato observado.

No que se refere a classificação da pesquisa quanto aos objetivos da mesma, ela pode ser classificada como descritiva que segundo Gil (2002 apud MENEZES et al., 2019), permite descrever características relacionando várias variáveis.

Assim, o tipo de pesquisa será definido como bibliográfico de caráter descritivo, quanto aos procedimentos basicamente realizada através de um estudo de livros, publicações periódicas, artigos, entre outros, relacionados com abordagem do problema.

O universo de estudo será constituído por algumas metodologias disponíveis em sites, revistas, livros e documentos acadêmicos. As informações coletadas serão analisadas descritivamente, fazendo uso de documentos como base para o estudo.

5. CONCLUSÃO

A Análise Envoltória de Dados é um método que tem como finalidade a verificação das unidades produtivas com intuito de definir se tal unidade está sendo eficiente ou não. Sendo uma forma de avaliação da produtividade relacionando o número de insumos para a confecção de produtos.

Municiado dos modelos CCR e BCC, com orientação ao insumo ou produto, que visa a criação de uma fronteira de eficiência, a AED tem como objetivo a comparação das unidades tomadoras de decisões frente a quantidade de insumos utilizados para a confecção de uma quantidade de produtos, para assim, concluir se a produtividade está sendo eficiente, atingindo resultados estipulados e gerando um melhor aproveitamento de tempo e dinheiro dentro de uma organização.

Também através da aplicação da AED, é possível identificar as regiões que apresentam menor eficiência ou até mesmo deficiência que revelará as dimensões quantitativas de entradas e saídas.

A partir disso, a identificação de pontos ineficientes na produtividade possibilitará aos responsáveis elaborar estratégias que possam converter a ineficiência em eficiência, evitando o desperdício de insumos frente aos produtos. O objetivo geral do presente estudo consistiu em descrever a metodologia de Análise Envoltória de Dados, tendo como objetivos específicos descrever eficiência e produtividade, demonstrar a importância da AED para mensurar produtividade, apontar aplicações da AED na engenharia civil.

Visando o que foi descrito no decorrer do trabalho pode-se constatar que a aplicação da AED nas organizações pode ser considerada uma ferramenta de fundamental importância para determinação dos setores eficientes e consequentemente identificação para correção dos setores ineficientes. Através de comparações realizadas pelos modelos CCR e BCC orientados ao insumo ou ao produto, visando observar a fronteira de eficiência como padrão para se chegar a um resultado específico para assim ser tomada as decisões.

Quanto a formulação, ela pode ser feita dependendo do modelo escolhido para aplicação, baseando-se em programação linear que abrange diversas funções de um conjunto de forma simples que fornecerá resultados para estabelecer as fronteiras de eficiência.

Em relação à hipótese levantada quanto a importância de se fazer um planejamento dentro de toda e qualquer empresa ou instituição pública ou privada para que haja eficiência nos processos produtivos, foi verificado que essa hipótese é aceitável. Por isso a pesquisa se mostrou indispensável dada à importância do planejamento de empresas ou instituições públicas, afim de obter maior sucesso e atingir as metas estipuladas seja ela na área da construção civil ou em qualquer segmento de atuação.

É imprescindível frisar as limitações deste estudo, pois foi constatado uma escassez de trabalhos atualizados sobre o tema proposto e com isso, o resultado não pode ser generalizado, pois existe a iminência de novas situações em que podem apresentar resultados ainda mais satisfatórios.

Por fim o presente trabalho respondeu os objetivos propostos, podendo assim, sugerir novas pesquisas para revelar se aplicação da AED em conjunto com as inovações que ocorrem constantemente pode trazer maiores benefícios para qualquer seguimento de produção e com isso, generalizar tais achados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Mariana R. de. **A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): uma integração da Análise Envoltória de Dados e Índice Malmquist**. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-26112010-144241/pt-br.php>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

ALMEIDA, Mariana; MARIANO, Enzo; REBELATTO, Daisy. **Análise por Envoltória de Dados - evolução e possibilidades de aplicação**. (2006). 10.13140/2.1.3726.4320. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257409611_Analise_por_envoltoria_de_da_dos_-_evolucao_e_possibilidades_de_aplicacao. Acesso em: 03 set. 2020.

ANDRADE Maria Margarida de. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 158p.

BARBOSA, F. C; FUCHIGAMI, H. Y. **Análise Envoltória de Dados: teoria e aplicações**. 1. ed. Itumbiara - GO: ULBRA, 2018. 100 p. Disponível em: <http://conhecimentolivres.org/wp-content/uploads/2019/03/Livro-DEA1.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.

BARRETO, A. M. **Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) na avaliação da eficiência de ações gerenciais para redução de desperdícios em obras de construção civil**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando M. Heineck. 2010. 156 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2010. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/16193/1/2010_dis_ambarreto.pdf. Acesso em: 14 out. 2020.

BEZERRA, P.R.; ARAÚJO, D. M.; SILVA, D. R.; ALMEIDA, M. R. **A análise envoltória de dados (dea – data envelopment analysis) como ferramenta de avaliação da eficiência das mpes das cadeias produtivas do petróleo e do gás do rn**. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2015.

BOGETOFT, P.; OTTO, L. **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. Copenhagen: Springer. 2011. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:spr:isorms:978-1-4419-7961-2>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

CAMPOS, E. L. C. **O princípio da eficiência no processo civil brasileiro**. Orientador: Prof. Doutor Leonardo José Ribeiro Coutinho Berardo Carneiro da Cunha. 2017. 173 p. Dissertação (Pós-Graduação em Direito) - Faculdade de Direito do Recife / Centro de Ciências Jurídicas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/25191/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Eduardo%20Luiz%20Cavalcanti%20Campos.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2020.

CASA NOVA, S.P.; SANTOS, A. (2008). Aplicação da Análise por Envoltória de Dados Utilizando Variáveis Contábeis. **Revista Contabilidade e Organizações**. 3(2), 132-154. DOI <https://doi.org/10.11606/rco.v2i3.34717>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/44131325_Aplicacao_da_analise_por_envoltoria_de_dados_utilizando_variaveis_contabeis. Acesso em: 10 nov. 2020.

CHARNES, A., COOPER, W. W., & RHODES, E. (1978). **MEASURING THE EFFICIENCY OF DECISION MAKING UNITS**. European journal of operational research, 2(6), 429-444. Disponível em: https://www.academia.edu/39481471/Measuring_the_efficiency_of_decision_making_units. Acesso em: 02 abr. 2020.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Data envelopment analysis: theory, methodology and application**. Second print. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221794002169>. Acesso em: 01 set. 2020.

COELLI, T.J., RAO, D.S. Prasada e BATTESE, G.E. **A INTRODUCTION TO EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY ANALYSIS**. 3ª edição. London: Kluwer Academic Publishers, 1997. 275 p. ISBN 0-792-8062-2.

COSTA, E. **Proposta de modelo para indicador de eficiência em redes de cooperação horizontal utilizando o índice de malmquist**. Orientador: Prof. Dr. Antonio Vanderley Herrero Sola. 2017. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2589/1/PG_PPGEPM_Costa%2C%20Ercules_2017.pdf. Acesso em: 1 jul. 2020.

FERREIRA, S. G. **Implantação de um processo de melhoria de produtividade por meio da metodologia OEE**. Orientador: Prof.^a Dr.^a Juliana Vitória Messias Bittencourt. 2017. 43 p. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7894/1/PG_CEEP_2016_1_20.pdf. Acesso em: 29 jun. 2020.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRANCISCHETTI, Carlos Eduardo; PADOVEZE, Clóvis Luís; OLIVEIRA, Janaina Aparecida Joaquim de; IGNÁCIO, Paulo Sérgio de Arruda. Análise da Eficiência das Empresas de Construção Civil listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados. **Reficont: Revista de Finanças e Contabilidade da UNIMEP**, [s. l.], v. 4, ed. 2, p. 54-72, 2017. Disponível em: <http://reficontunimep.com.br/ojs/index.php/Reficont/article/view/74>. Acesso em: 11 out. 2020.

FREIRE, E. M. **Avaliação da eficiência da coleta seletiva no estado do Rio Grande do Norte: um estudo com a análise envoltória de dados (dea)**. Orientador: Elís Regina

Costa de Moraes. 2013. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, Mossoró/RN, 2013. Disponível em: <https://ppgats.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/47/2014/09/AVALIA%C3%87%C3%83O-DA-EFICI%C3%84NCIA-DA-COLETA-SELETIVA-NO-ESTADO-DO-RIO-GRANDE-DO-NORTE-UM-ESTUDO-COM-A-AN%C3%81LISE-ENVOLT%C3%93RIA-DE-DADOS-1.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.

GUERRA, M. **Análise de desempenho de organizações hospitalares**. Orientador: Prof. Antônio Artur de Souza, Ph.D. 2011. 143 p. Dissertação (Mestrado em Contabilidade e Controladoria) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte - MG, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8KZNFA/1/mariana_guerra.pdf. Acesso em: 1 jul. 2020.

GIACOMELLO, C. P; OLIVEIRA, R. L. Análise envoltória de dados (DEA): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. **Revista Gestão Universitária na América Latina-GUAL**, v. 7, n. 2, 2014.

HONGLAN, L.; RUYUN, Y.; XIAONA, Q. **PRODUCTIVITY ANALYSIS AND BENCHMARK SELECTION OF X MINING COMPANY BY DEA**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 6(4): 162-168, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283113628_Productivity_analysis_and_benchmark_selection_of_X_mining_company_by_DEA>. Acesso em: 24 mai. 2020.

LAKATOS, E. Maria; MARCONI, M. de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica: Técnicas de pesquisa**. 7 ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, F. M. **Análise multicritério e multiobjetivo de priorização de projetos em estações de tratamento de esgotos no município de Unaí (MG)**. Orientador: Profa. Dra. Adriana Guimarães Costa. 2016. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos do Instituto Federal do Ceará) - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ – IFCE, Fortaleza-CE, 2016. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/1107/1/TCC%20ANA_IFCE%20-%20FELIPE%20MARTINS.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

MELO, H. M. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de desempenho das unidades acadêmicas de uma universidade federal**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública em Rede Nacional) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/9670>>. Acesso em: 2 abri. 2020.

MENEZES, A. H. N.; DUARTE, F. R.; CARVALHO, L. O. R.; SOUZA, T. E. S. **Metodologia científica teoria e aplicação na educação a distância**. 1. ed. Petrolina-PE: [s. n.], 2019. 83 p. ISBN 978-85-60382-91-0. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/noticias/univasf-publica-livro-digital-sobre-metodologia->

cientifica-voltada-para-educacao-a-distancia/livro-de-metodologia-cientifica.pdf/view. Acesso em: 14 out. 2020.

NASCIMENTO, M. L. S. **Aplicação de método multicritério na tomada de decisões gerenciais**: um estudo na manutenção de equipamentos logísticos. Orientador: Ricardo Jorge da Cunha Costa Nogueira; Armando Araújo de Souza Junior. 2017. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, MANAUS, 2017. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6334/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Maria%20Luciney%20S.%20Nascimento.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020.

NOGAMI, Otto. **Economia**. 1. ed. rev. Curitiba - PR: IESDE Brasil S.A., 2012. 246 p. ISBN 978-85-387-3040-8. Disponível em: <http://www.portalava.com.br/ava/includes/downloads/Economia1.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

PACHECO, F. S. **Análise de eficiência dos bancos brasileiros**. Orientador: Antônio Carlos Gastaud Maçada. 2015. 17 p. Trabalho de Conclusão de Especialização (Especialização em Finanças) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Administração, Porto Alegre - RS, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/158365/001021964.pdf?sequence=1>. Acesso em: 1 jul. 2020.

PEREIRA, Nevison Amorim. **Avaliação da eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados (DEA)**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Contabilidade Financeira) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12616/1/AvaliacaoEficienciaPrincipais.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

PESQUISA OPERACIONAL I - **Aula 24** - Análise Envoltória de Dados. São Paulo: Univesp, 2017. Son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=a-CXSuVa8jl>. Acesso em: 06 dez. 2020.

PINTO, L. F. P. **Eficiência técnica e econômica**: evidências de conflitos na análise da infraestrutura física da Universidade de Brasília (UNB). Orientador: Jorge Madeira Nogueira. 2013. 98 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/16706/1/2013_LuisFernandodePaulaPinto.pdf. Acesso em: 25 mai. 2020.

OLIVEIRA, Vanessa Herculano de; MACEDO, Marcelo Alvaro da Silva; CORRAR, Luiz João. ESTUDO DO DESEMPENHO DOS MAIORES BANCOS DE VAREJO NO BRASIL POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA). **Revista de Informação Contábil**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 1-20, dez. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/ricontabeis/article/view/7925>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

OLIVEIRA, J. A. J.; FRANCISCHETTI, C. E.; GALEANO, R.; PADOVEZE, C. L.; IGNÁCIO, P. S. A. (2017). Análise da Eficiência das Empresas de Construção Civil

listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados. **Revista de Finanças e Contabilidade da Unimep**, 4(2), 54-72.

OLIVEIRA, W. C. **Uso de análise envoltória de dados para avaliação de modelos com e sem restrição aos pesos**: um estudo de caso para análise de alternativas de reaproveitamento de rejeito de minério de ferro na construção civil. Orientador: Prof. Doutora Lásara Fabrícia Rodrigues. 2019. 59 p. Monografia (GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP, Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1717/6/MONOGRAFIA_UsoAnaliseEnvolt%C3%B3ria.pdf. Acesso em: 2 jul. 2020.

RAMOS, Débora Cristina da Silva; SOUZA, Júlia Alves; MENDONÇA, Douglas José (2019): "Eficiência econômico-financeira de empresas de capital Aberto do setor de serviços educacionais no Brasil", **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**. Maio 2019. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/05/eficiencia-economico-financeira.html> [//hdl.handle.net/20.500.11763/oel1905eficiencia-economico-financeira](https://hdl.handle.net/20.500.11763/oel1905eficiencia-economico-financeira)>. Acesso em: 29 jun. 2020.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D.; THOMAZ, A. C. F. (2015). Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. 12. 15-29. 10.21168/rega.v12n1.p15-29.

SANTOS, Paulo Ferreira dos; MORAIS NETO, Gregório Coelho de; FERREIRA, Carlos Maurício de Carvalho. **Aplicações da Análise Envoltória de Dados em Sistemas de Transporte Público de Passageiros**. XXXIX SBPO. Fortaleza: 2007. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2007/pdf/arq0065.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2020.