

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Geovandro Gomes da Silva**

**AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE UNIDADES  
DE MANUFATURA BASEADA NA ANÁLISE  
ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*

**Orientador:** Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

**Co-orientador:** Prof. Anderson Paulo de Paiva, Dr.

**Itajubá**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

*“O analfabeto do século XXI não será aquele que não sabe ler e escrever, mas aquele que não consegue aprender, desaprender e aprender novamente”.*

***Alvin Toffler***

*À minha esposa, Maria Lúcia, e aos meus filhos,  
Felipe e Henrique, que juntos proporcionam energia e  
alegria para que tudo o que faço tenha sentido.*

## **AGRADECIMENTO**

Acredito piamente que a partir do momento que realmente se define um objetivo, o Universo passa a conspirar a favor deste objetivo. Universo é aqui entendido como sendo a energia emanada por muitas pessoas que na maioria já eram ou se tornaram amigos próximos, com os quais tenho o imenso prazer de me relacionar, e familiares que sempre buscam compreender a ausência em momentos importantes. O Deus que existe em cada um de nós.

Agradeço ao Prof. José Arnaldo, que abriu as portas para um conhecimento para mim não trivial e que mesmo diante de diversos compromissos e de minhas limitações de tempo, sempre conseguiu orientar os meus trabalhos de pesquisa com “arte”, ou seja, fazendo com que houvesse muito prazer durante o processo.

Sou também muito grato à Fabiana Dias, a líder do nosso “grupo de estudo”, que com muita dedicação e perseverança, mesmo em momentos difíceis, muito contribuiu para o desenvolvimento da competência em DEA na UNIFEI e, tenho certeza, vai obter em breve seu merecido título de Mestre, com muito louvor.

Ao Prof. Anderson Paiva, que com pontuais e precisas intervenções no trabalho deu ainda mais sentido ao já promissor tema escolhido.

Ao Prof. Valério Salomon, que através de análise detalhada e rigorosa contribuiu para melhora do trabalho desenvolvido.

Aos Professores Edson Pamplona, Renato Lima e Carlos Sanches, que sempre me incentivaram na busca por este desafio.

Aos amigos do trabalho: Milton Laugenio, que com sua liderança e compreensão impar sempre me abriu portas acreditando no meu desenvolvimento profissional e pessoal, e possibilitou a arrancada final para a conclusão deste trabalho; João Vitor, amigo acima de tudo, que sempre me incentivou a buscar o já almejado desenvolvimento acadêmico; Alexandra Costa, André Silva e Alisson Souza, que nos momentos de ausência do escritório, garantiram o elevado nível dos serviços prestados pela nossa Equipe; Marcos Picilli, excelente representante de toda Equipe Gerencial da empresa, parceiros de aprendizado contínuo; todos que fizeram parte deste caminho, e que são muitos amigos.

Aos meus pais, Geraldo e Leonor, sempre presentes em cada passo da minha evolução, portanto fundamentais para que pudesse ter atingido a condição de ensinar outras pessoas, ajudando-as a crescer.

Minhas irmãs Lisandra e Eliandra e respectivas famílias, que trazem alegria a todos os momentos de família reunida.

Minha sogra D. Irma, que sempre trata a todos nós com muito carinho e compreensão, bem como a toda alegre e cheia de energia família Costanzi Perez, presente em nossos corações apesar da distância física.

A Maria Lúcia, esposa querida que garante a alegria e equilíbrio do nosso Lar e, enquanto excelente Engenheira, compõe o conjunto de referências para nossos maravilhosos filhos.

E ao Felipe e Henrique, que embora justificadamente não concordem com a ausência do pai em vários momentos, são filhos maravilhosos que trazem muita alegria e a certeza de que vale a pena!

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Geovandro Gomes da Silva**

**AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE UNIDADES  
DE MANUFATURA BASEADA NA ANÁLISE  
ENVOLTÓRIA DE DADOS**

**Banca Examinadora:**

Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr. (Orientador)

Prof. Anderson Paulo de Paiva, Dr. (Co-orientador)

Prof. Renato da Silva Lima, Dr.

Prof. Valério Antonio Pamplona Salomon, Dr.

**Itajubá**

**2008**

## RESUMO

O mercado global de peças para automóveis é tipicamente caracterizado pela presença cada vez mais marcante de fornecedores globais. Estes são constantemente pressionados a reduzir os custos, melhorar sua produtividade local e a competitividade em mercados alvo enquanto atingem resultados compatíveis com as expectativas de suas matrizes. Busca-se com este trabalho avaliar o desempenho de um conjunto de unidades de manufatura de autopeças fazendo uso de métodos e critérios que caracterizam estas atividades e suas relações. Assim, objetiva-se efetuar a análise comparativa da eficiência produtiva das unidades de manufatura, aplicando a técnica Análise Envoltória de Dados, em informações de desempenho operacional destas unidades. Para tal, foram obtidos dados a partir do sistema de indicadores geridos pelo *Balanced Scorecard*, que representam o desempenho operacional das mesmas e respeitam os padrões estabelecidos pela matriz. Foram realizadas análises comparativas entre estes dados, utilizando técnica da Pesquisa Operacional conhecida como Análise Envoltória de Dados. Para viabilizar a análise, respeitando as restrições típicas da técnica escolhida, foram efetuados a seleção e agrupamento das variáveis em seis grupos de quatro variáveis. Os grupos de variáveis foram formados com base nos resultados de correlação dos dados e experiência do Pesquisador. Foi ainda realizada a análise comparativa da eficiência das unidades de manufatura, obtidas da aplicação da Análise Envoltória de Dados, e a eficácia de planejamento destas unidades, ou seja, o desempenho das mesmas no atendimento às metas estabelecidas junto a matriz. Espera-se que este trabalho contribua com as análises dos gestores, fazendo com que sejam menos suscetíveis ao impacto da diversidade cultural que caracteriza o conjunto de unidades de manufatura em questão.

Palavras chave: Análise Envoltória de Dados – DEA, análise de desempenho de produtor de autopeças, eficiência de unidades de manufatura.



## **ABSTRACT**

The global auto-parts market is typically characterized by the significant presence of global suppliers. They are under constant pressure for reducing their costs, improving their local productivity and competitiveness in target markets, while achieving results according to their board of director's expectations. The objective of this work is to evaluate the set of auto-parts plants of manufacturing performance, using methods and criteria that characterize these unities activities plus the relations among them. It aims to perform the productive efficiency comparative analysis, applying the technique Data Envelopment Analysis – DEA on operational performance information of these Decision Making Unities – DMU. In order to do that, it has been obtained data from the Balanced Scorecard set of indicators, which represents the operational performance of these DMU plus respects the procedures defined by the board of directors. Comparative analysis among these data was developed, using an Operational Research technique known by Data Envelopment Analysis – DEA. In order to make the analysis, respecting the typical restrictions of the chosen technique, the indicators were selected and put together in six groups, four indicators each. The groups were chosen based on the data correlation analysis and the Researcher experience. It was also performed the comparative analysis between the efficiency of the DMU, obtained from the DEA analysis, and their planning effectiveness, it means, the performance of the DMU on attending the targets defined the board management. The research expectation is to contribute with the manager's analysis, making them less susceptible to the impact of cultural diversity, which is typical for the set of plants of manufacturing under analysis.

Key words: Data Envelopment Analysis – DEA, performance of auto-parts producer's analysis, plants of manufacturing efficiency.

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
1.2.	MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA .....	14
1.3.	OBJETIVO .....	16
1.4.	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	16
1.5.	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	17
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	18
2.2	CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....	18
2.3	PASSOS TÍPICOS DA PESQUISA OPERACIONAL .....	26
2.4	MODELOS CCR E BCC.....	29
2.5	LIMITAÇÕES DO DEA .....	30
2.6	<i>BALANCED SCORECARD</i> .....	30
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
<b>3.</b>	<b>APLICAÇÃO DO DEA.....</b>	<b>32</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	32
3.2	COLETA DE DADOS .....	33
3.3	ANÁLISE E REALIMENTAÇÃO DOS DADOS.....	35
3.4	SELEÇÃO DE VARIÁVEIS.....	36
3.5	EFICIÊNCIAS PELO CÁLCULO DOS PESOS VIA DEA.....	40
3.6	CONSOLIDAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS; .....	63
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
4.1	CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO .....	74
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXO A – ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE CADA DMU – CCR 1 .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO B – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....</b>	<b>82</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Exemplo de análise de produtividade com uma entrada e uma saída .....	21
Tabela 2.2	Exemplo para duas entradas e uma saída .....	23
Tabela 2.3	Exemplo para uma entrada e duas saídas .....	24
Tabela 3.1	Unidades de manufatura de A até N, variáveis e dados correspondentes ....	33
Tabela 3.2	Paridade utilizada entre as diferentes moedas e o Euro .....	33
Tabela 3.3	Crítérios para eficácia de planejamento .....	34
Tabela 3.4	Eficiência idealizada das DMU .....	35
Tabela 3.5	Eficiência idealizada das DMU, considerando Vendas .....	35
Tabela 3.6	Análise de correlação linear entre as variáveis .....	37
Tabela 3.7	Valores das variáveis com números negativos tratados .....	41
Tabela 3.8	Classificação de eficiência de DMU, com modelo CCR orientado à entrada, variáveis Vendas, Vendas por Funcionário, Estoque [dias] e Custo do Pessoal/Vendas ....	42
Tabela 3.9	Análise das variáveis da DMU L .....	43
Tabela 3.10	Análise das variáveis da DMU A .....	43
Tabela 3.11	Análise das variáveis da DMU E .....	43
Tabela 3.12	Análise das variáveis da DMU I .....	44
Tabela 3.13	Análise das variáveis da DMU F .....	44
Tabela 3.14	Análise das variáveis da DMU G .....	45
Tabela 3.15	Análise das variáveis da DMU C .....	45
Tabela 3.16	Análise das variáveis da DMU D .....	45
Tabela 3.17	Análise das variáveis da DMU M .....	46
Tabela 3.18	Análise das variáveis da DMU N .....	46
Tabela 3.19	Análise das variáveis da DMU B .....	47
Tabela 3.20	Análise das variáveis da DMU H .....	47
Tabela 3.21	Análise das variáveis da DMU J .....	47
Tabela 3.22	Análise das variáveis da DMU K .....	48
Tabela 3.23	Classificação de eficiência de DMU, com modelo CCR orientado a entrada, variáveis Vendas, Funcionários, Estoque [dias] e Custo do Pessoal .....	49
Tabela 3.24	Análise das variáveis de cada DMU – CCR 2 .....	51

Tabela 3.25	Classificação de eficiência de DMU, com modelo BCC orientado a entrada, variáveis Vendas, Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [dias] e Custo do Pessoal .....	54
Tabela 3.26	Análise das variáveis de cada DMU – CCR 3 .....	55
Tabela 3.27	Classificação de eficiência de DMU, modelo BCC orientado a entrada, Resultado Operacional, Vendas por Funcionário, Estoque [dias] e Custo do Pessoal .....	57
Tabela 3.28	Análise das variáveis de cada DMU – BCC 1 .....	58
Tabela 3.29	Classificação de eficiência de DMU, modelo BCC para a entrada, Resultado Operacional, Funcionários [quantidade], Estoque [dias] e Custo do Pessoal [Euro] .....	59
Tabela 3.30	Análise das variáveis de cada DMU – BCC 2 .....	60
Tabela 3.31	Classificação de eficiência de DMU modelo BCC à entrada, Resultado Operacional, Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [dias] e Custo do Pessoal .....	61
Tabela 3.32	Análise das variáveis de cada DMU – BCC 3 .....	62
Tabela 3.33	Consolidação de resultados gerados com modelo CCR orientado entrada ..	64
Tabela 3.34	Consolidação de resultados gerados com modelo BCC orientado entrada ..	67
Tabela 3.35	Eficácia de planejamento e eficiência DEA .....	70
Tabela 3.36	Correlação / P-value entre Eficácia BSC e Eficiências CCR e BCC .....	71

## LISTA DE QUADROS E FIGURAS

Quadro 1.1	Análise quanto as 10 principais características de uma Pesquisa-Ação .....	17
Figura 2.1	Exemplo de Isoquanta .....	19
Figura 2.2	Retorno de Escala .....	19
Figura 2.3	Fronteira eficiente para uma entrada e uma saída .....	22
Figura 2.4	Fronteira eficiente para duas entradas e uma saída .....	23
Figura 2.5	Ineficiência da loja A, para duas entradas e uma saída .....	24
Figura 2.6	Fronteira eficiente para uma entrada e duas saídas .....	25
Figura 2.7	Medição de ineficiência para uma entrada e duas saídas .....	25
Figura 2.8	Exemplo ilustrativo de modelo CCR, retorno constante de escala .....	29
Figura 2.9	Exemplo ilustrativo modelo BCC, retorno variável de escala .....	30
Figura 3.1	Distribuição geográfica das 14 unidades de manufatura .....	32
Figura 3.2	Eficácia de planejamento das DMU .....	34
Figura 3.3	Frequência dos níveis de eficiência das DMU – modelo CCR .....	65
Figura 3.4	Frequência com que DMU são tidas como referência – modelo CCR .....	66
Figura 3.5	Frequência nos níveis de eficiência das DMU – modelo BCC .....	68
Figura 3.6	Frequência com que DMU são tidas como referência – modelo BCC .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP: *Analytical Hierarchical Process*. Processo de Análise Hierárquica. Técnica estruturada para ajudar as pessoas a administrar decisões complexas, através da determinação do que atende as suas necessidades de desejos.

ARG: Peso Argentino;

AUD: Dólar Australiano;

BCC: Banker, Charnes e Cooper. Um dos modelos de aplicação do DEA, que também assume retornos variáveis de escala;

BSC: *Balanced Scorecard*. Sistema de gestão do desempenho alinhado com a estratégia da empresa (Campos, 1998);

CCR: Charnes, Cooper e Rhodes. Modelo usual de aplicação da DEA, também denominado de Retorno Constante de Escala;

CNY: Yuan Chinês;

DEA: *Data Envelopment Analysis*. Análise Envoltória de Dados;

DMU: *Decision Making Unity*. Unidade de tomada de decisão;

E: Variável classificada como Entrada;

PCA: *Principal Component Analysis*. Análise do Componente Principal. Procedimento matemático que transforma um número de possíveis variáveis correlatas em pequena quantidade de variáveis não correlatas, chamadas componentes principais;

S: Variável classificada como uma saída;

USD: Dólar Americano;

# **1. Introdução**

## **1.1. Considerações iniciais**

Neste capítulo será feita a contextualização do trabalho e da Empresa alvo da análise no momento que a mesma atravessava no 1º trimestre de 2008. Para tal, este será segmentado em: motivação e relevância, objetivos e metodologia de pesquisa utilizada.

## **1.2. Motivação e relevância**

A crescente busca global de melhores opções de compra e venda de produtos vem gerando impacto significativo na indústria em geral. Talvez a indústria automobilística seja um dos setores pioneiros na busca de soluções corporativas para garantia da competitividade.

Inicialmente a procura por oportunidades de aumento de competitividade foi puxada por grandes empresas montadoras de veículos automotores globais. Pressionadas pelas novas entrantes asiáticas e seduzidas por oportunidades de redução de custos, alinhadas com a progressiva adequação de leis de livre comércio mundial, estas empresas identificaram em fornecedores competitivos, localizados em países considerados de baixo custo, uma forma no mínimo interessante de suprir esta necessidade. Com isso o mercado acaba por definir referências de preços para todas as regiões no mundo automobilístico, acirrando ainda mais a competição e diminuindo a margem de lucro potencial em algumas regiões para uma mesma referência de tecnologia de fabricação.

Atualmente fusões têm ocorrido entre fornecedores anteriormente concorrentes e com isso há um natural fortalecimento dos mesmos nos processos de negociação com clientes e seus fornecedores. Além disso, algumas vantagens competitivas de companhias multinacionais fornecedoras de autopeças resultantes destas fusões podem ser: estar presente em todas as regiões de interesse das montadoras, identificar as melhores práticas regionais e aplicá-las globalmente, com isso, otimizar a relação resultados obtidos e recursos aplicados ao limite da eficiência estabelecido pela análise do grupo de DMU em questão.

O caso a ser estudado é de uma fornecedora de autopeças nomeada Mahle que, passando por consecutivas experiências de fusões, possuía, no início deste trabalho, doze unidades fabricantes distribuídas em diversos países, sendo oito delas então recentemente adquiridas. No entanto, como evidência de quão competitivo e dinâmico é o ambiente em questão, na data referência aqui utilizada, 1º trimestre de 2008, a mesma já havia aumentado o

número de unidades para quatorze, distribuídas nas Américas do Sul, Central e do Norte, na Europa, Ásia e Oceania.

Assim, este trabalho descreve a análise de eficiência efetuada em unidades fabricantes de autopeças Mahle no citado momento de sua existência, ou seja, de quatorze DMU de manufatura, via seleção de indicadores e medição das diferentes facetas que compõe a performance de cada uma delas. Além disso, busca definir as melhores referências, em termos de eficiência, criando o ambiente propício para a concorrência salutar entre as mesmas na busca da melhoria contínua.

Entende-se também como importante este trabalho, pois, em função da eventual ausência de habilidade para entender e medir o desempenho, pode-se não obter resultados satisfatórios com esforços na busca da melhor referência em um dado assunto, principalmente quando se desdobram as tidas melhores práticas de manufatura.

Gestores têm a tendência de medir o que é fácil de ser medido, ao invés daquilo que é necessário ser medido. Com a proliferação e implementação dos programas da qualidade, sistemas de informação, programas de melhoria contínua e presença marcante de prêmios de excelência, gestores, atualmente, têm acesso a informações em tempo real e bancos de dados de fácil manipulação e busca de informações relevantes (GOMES et al., 2004).

Além disso, naturalmente, os gestores sofrem grande pressão para a melhorar o desempenho de suas organizações. No caso em questão, tanto via aceleração da integração entre nova empresa formada pelas práticas e culturas da adquirida e adquirente, como pela constante melhora da produtividade dos processos relacionados à produção, desenvolvimento e venda dos seus produtos. Desta forma, uma adequada definição de parâmetros para avaliação de desempenho pode minimizar a influência da diversidade cultural no processo de tomada de decisão além de tornar mais evidente o custo e benefícios de decisões estratégicas.

Assim, as principais justificativas para a aplicação da técnica DEA na empresa alvo são:

- Empresa alvo da análise possui clientes mundiais, presentes em vários continentes;
- Mercado em questão é global, palco de competição acirrada onde referências de preço são definidas, pressionando a margem de lucro;
- Identificação de plantas de melhor eficiência acaba por criar referência. Desta forma, as melhores práticas podem ser aplicadas globalmente;
- Pode-se gerar uma saudável competição interna pela melhor eficiência;



- Auxílio no processo de tomada de decisão, minimizando a subjetividade típica da diversidade cultural;
- Fusões ocorridas influenciam o processo de tomada de decisão e aumenta a influência da diversidade cultural;
- O custo de decisões estratégicas podem se tornar mais claros.

### 1.3. Objetivo

Assim, a pesquisa desenvolvida nesta dissertação visa avaliar o desempenho de diversas DMU de manufatura de autopeças através da Análise Envolvente de Dados baseando-se em parâmetros que envolvem vários dos fatores que caracterizam as atividades destas DMU e suas relações, tendo como objetivos secundários:

- Demonstrar a relevância de efetuar cálculo de pesos relativos à importância de cada variável, que serão aplicados a cada uma delas e em todas as DMU de manufatura, minimizando a subjetividade da análise;
- Identificar a fronteira de eficiência relativa ao conjunto de DMU avaliado;
- Identificar o que pode ser melhorado nas DMU de eficiência inferior;
- Auxiliar na definição de estratégias e ações voltadas para o aumento da eficiência local e, como consequência, do desempenho global.

### 1.4. Metodologia de Pesquisa

O presente trabalho de pesquisa científica está classificado como sendo de natureza aplicada, com objetivo exploratório e abordado de forma quantitativa e qualitativa.

Para definição e validação dos procedimentos técnicos a serem utilizados, foi efetuada uma análise deste trabalho em relação às dez principais características ressaltadas no **Quadro 1.1** de uma Pesquisa-ação (COUGHLAN et al., 2002).

<b>Características</b>
Pesquisadores de uma Pesquisa-ação observam, mas também atuam no objeto de estudo;
Uma Pesquisa-Ação sempre trata de dois objetivos: resolver um problema e contribuir para a ciência;
É interativa;
Objetiva desenvolver uma compreensão holística durante um projeto enquanto reconhece sua complexidade;
Trata fundamentalmente sobre mudanças (planejamento e implementação);
Requer um entendimento da estrutura ética, valores e normas que são utilizados no contexto em questão;
Pode incluir todos os tipos de métodos de obtenção de dados (normalmente qualitativos e quantitativos);
Requer um vasto pré-conhecimento do ambiente corporativo, as condições do negócio, a estrutura, e bases teóricas dinâmica dos sistemas operacionais;
Deveria ser conduzido em tempo real, sendo aceitável para retrospectivas, quando o caso escrito é usado para intervenções no sistema no presente;
O paradigma da Pesquisa-ação requer critérios de qualidade próprios.

Quadro 1.1 - Análise quanto as 10 principais características de uma Pesquisa-ação

Desta forma, pode-se classificar o trabalho como uma Pesquisa-ação. O trabalho foi ainda classificado como de natureza aplicada e com objetivos exploratórios. O problema está sendo abordado de forma quantitativa, quanto à análise técnica dos dados disponíveis, e qualitativa, quanto a sugestões de ações para melhoria do desempenho das unidades de tomada de decisão.

## **1.5. Limitações da pesquisa**

Os resultados e aplicação das ações resultantes desta pesquisa estão limitados à empresa objeto de estudo bem como ao período, 1º trimestre de 2008, do qual foram obtidos dados reais para a elaboração do mesmo.

No entanto, a Revisão Bibliográfica efetuada bem como as conclusões conceituais advindas desta pesquisa podem ser também utilizadas tanto em trabalhos similares baseados em dados obtidos da indústria automobilística como em outros ramos de atividade, onde se objetiva uma análise de eficiência de diversas unidades de tomada de decisão (*DMU*).

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1 Considerações iniciais**

As importantes definições e conceitos que suportam este trabalho de pesquisa são fundamentais para facilitar o entendimento dos mesmos. Algumas das que mais contribuem para o trabalho estão aqui citadas. Serão apresentadas definições da Teoria da Produção além dos necessários conceitos de Correlação Linear, Pesquisa Operacional, Programação Linear e Análise Envoltória de Dados, que é alvo deste trabalho.

### **2.2 Conceitos e definições**

A dissertação de Edward Rhodes, sob a supervisão de W.W.Cooper, publicada em 1978, foi considerada como início da aplicação da Análise Envoltória de Dados. O problema abordado na tese era o de desenvolver um método para comparar a eficiência de escolas públicas levando em conta “saídas” como: escores aritméticos, melhora da auto-estima medida em testes psicológicos, habilidade psicomotora; e “entradas” como: número de professores-hora e tempo gasto com a mãe para leitura com o filho. (LINS et al., 2006);

Kassai (2002) define eficácia como relacionada aos objetivos traçados ou à obtenção dos resultados esperados e produtividade como sendo a relação entre entradas e saídas de um determinado sistema.

Cooper et al. (2006) define primeiramente eficiência como sendo a relação entre benefícios obtidos e recursos utilizados, e ainda, como conceito relativo que compara o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido utilizando os mesmas entradas. Eficiência pode ser entendida como uma comparação entre as produtividades observadas.

Se houver uma maneira de melhorar a situação de uma pessoa sem piorar a de outra haverá uma melhoria de pareto. Se uma alocação puder realizar uma melhoria de pareto ela é dita pareto ineficiente (KOOPMANS, 1951 apud COOPER et al., 2006). Um conceito de Pareto-Koopmans define uma Unidade de Tomada de Decisão como eficiente se, e somente se, não for possível melhorar qualquer entrada ou saída sem piorar qualquer outra entrada ou saída (COOPER et al., 2006).

Brunetta (2004) define isoquanta como curva que representa as várias combinações de quantidade de insumos necessários para produzir um nível fixo de produtos. Diferentes produtores na mesma isoquanta produzem o mesmo nível de produtos podendo empregar níveis diferentes de insumos.

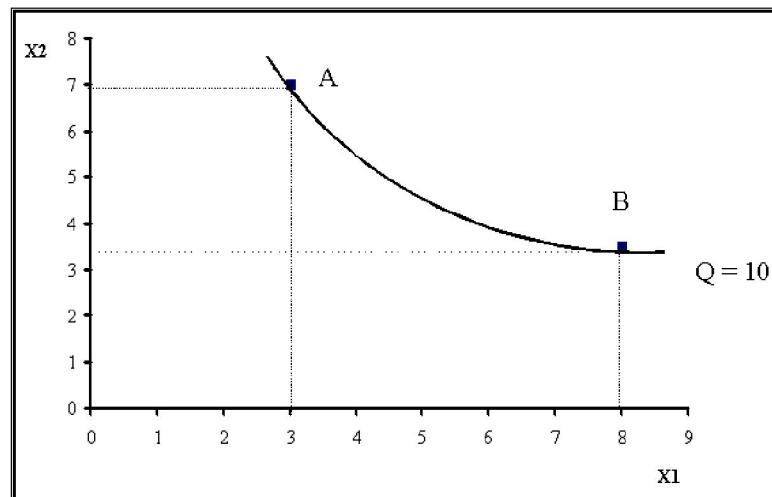


Figura 2.1 - Exemplo de Isoquanta

Conforme Varian (2006), o conjunto de todas as combinações de recursos e produtos que são viáveis, utilizando tecnologias diferentes, é chamado de **conjunto de possibilidades de produção (CPP)**.

O conceito de Retorno Constante de Escala é representado pela taxa de crescimento do produto à medida que os insumos crescem proporcionalmente (PINDYCK et al., 2002). Ver *Figura 2.2*.

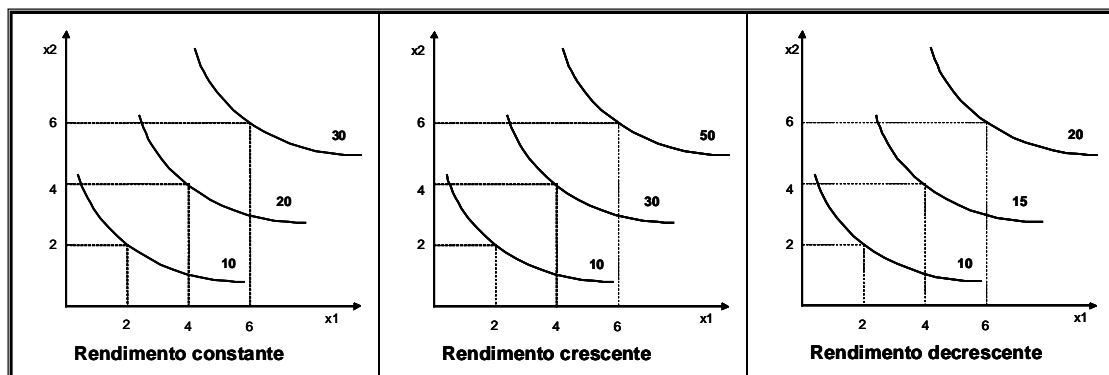


Figura 2.2 - Retorno de Escala

Em cada quadro da *Figura 2.2* pode-se observar três isoquantas. Nota-se variações proporcionais de entradas  $x_1$  e  $x_2$  nas três isoquantas de cada quadro. No entanto, quando comparados os três quadros observa-se taxas de crescimento dos produtos resultantes de cada isoquanta diferentes:

- **Rendimento constante** – insumos e produtos crescem a uma taxa igual a 2, quando se muda de isoquanta, como por exemplo, de processo ou padrão tecnológico;

- Rendimento crescente – insumos crescem a uma taxa igual a 2 enquanto que os produtos resultantes de diferentes isoquantas, processos ou padrões tecnológicos, crescem com taxa igual a 3;
- Rendimento decrescente – insumos crescem a uma taxa igual a 2 enquanto que os produtos resultantes de diferentes isoquantas, processos ou padrões tecnológicos, crescem com taxa igual a 1,5.

Koopmans (1951) traz conceito de pareto para o ambiente produtivo enquanto define que nenhuma saída poderia ser melhorada se piorasse uma ou mais saídas ou entradas. Da mesma forma não haveria como melhorar uma entrada sem piorar uma ou mais entradas ou saídas (apud COOPER et al., 2006).

Charnes et al. (1985) definem que a eficiência de 100% é atingida por uma unidade quando comparações com outras unidades relevantes não provêm evidência de ineficiência no uso de qualquer dado de entrada ou saída.

Lins et al. (2006) adicionam que este conceito nos permite diferenciar dados de produção eficientes e ineficientes, mas não nos permite medir o grau de ineficiência, questão tratada pela medida radial de eficiência.

Conforme Silva et al. (1998), Pesquisa Operacional é método científico utilizado para auxiliar nas tomadas de decisões. Emprega modelos que descrevem sistemas organizados, e através do modelo, pode-se determinar a maneira mais adequada de operar o sistema.

De acordo com Caine et al. (1996), a Programação Linear disponibiliza a única ferramenta de suporte à decisão para obter a solução ótima para um número de variáveis dentro de um conjunto de restrições.

Vale citar ainda o conceito de Análise Envoltória de Dados (DEA) desenvolvido por Lins et al. (2006), que a definem como método desenvolvido para tratar problemas de avaliação de desempenho em organizações produtivas. Definem ainda que no que se refere à relação entre variáveis, cada uma pode apresentar características completamente distintas. Isto porque o método não requer a conversão em uma única unidade, mas preserva a análise no espaço multidimensional.

Já Cooper et al. (2006) complementam o conceito de DEA como sendo assim denominada pela forma como envolve observações, visando identificar uma “fronteira” representativa dos desempenhos das unidades em análise e que viabiliza avaliação destas observações. Os mesmos ainda definem como desejável que o número de Unidades de Decisão, exceda a combinação do número de entradas e saídas em mais de 3 vezes, sob pena

de muitas Unidades de Decisão serem definidas como eficientes e a discriminação de eficiências entre as mesmas torne-se questionável, em função de número de grau de liberdade inadequado.

Desta forma, Zhu (1998) definiu DEA como sendo uma eficiente técnica não-estatística que emprega Programação Linear para definir pesos aos dados de entrada e saída e, com isso, ordenar as diversas unidades de negócio do fornecedor quanto ao seu desempenho (ZHU, 1997).

Outra importante contribuição de Zhu (2003) é a de que “dados negativos ou não numéricos devem ser considerados como inválidos”. Assim, os mesmos devem ser tratados antes de serem incluídos no processo de análise de eficiência *DEA*.

a) Exemplo de uma entrada e uma saída (COOPER et al., 2006);

A análise de situação hipotética da **Tabela 2.1** visa deixar os conceitos acima descritos ainda mais claros, que são base para o desenvolvimento das próximas etapas, uma vez que é normalmente difícil visualizar exemplos reais de forma gráfica.

Supondo a existência de 8 lojas, de A até H, cuja quantidade de funcionários empregados e vendas de um dado período serão utilizadas como exemplo para aplicação dos conceitos acima, para uma entrada e uma saída.

	Loja							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Funcionário [Quantidade]	2	3	3	4	5	5	6	8
Venda [Mil Reais]	1	3	2	3	4	2	3	5
Venda / Funcionário	0,500	1,000	0,667	0,750	0,800	0,400	0,500	0,625

Tabela 2.1 - Exemplo de análise de produtividade com uma entrada e uma saída

A Produtividade destas unidades é medida pela relação Venda / Funcionário. Neste caso, identificamos a unidade B como a mais Eficiente das unidades. A unidade B definirá então a Frenteira de Eficiência, como representado na **Figura 2.3**.

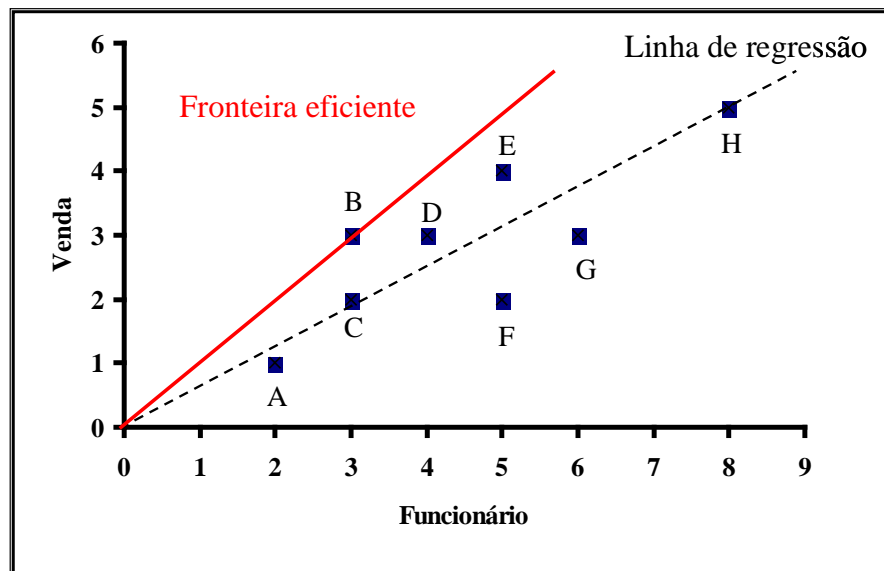


Figura 2.3 - Fronteira eficiente para uma entrada e uma saída

Nota-se na **Figura 2.3** que a Fronteira Eficiente toca o ponto B e todos os outros pontos estão abaixo desta linha, ou seja, estão envelopados ou até envelopados, pela mesma. Vale verificar na **Figura 2.3** que, caso o mesmo exemplo da **Tabela 2.1** fosse avaliado pelo método estatístico de regressão linear, teríamos e linha de regressão passando pela origem e pelo centro destes pontos. Esta constatação teórica mostra a vantagem da aplicação do *DEA* para a análise de eficiência entre diversas unidades de decisão, em relação ao método de regressão linear, quando o objetivo é a identificação da fronteira eficiente, ou seja, unidades que servem de referência para as outras. As eficiências das outras unidades serão medidas a partir da fronteira eficiente definida.

b) Exemplo para duas entradas e uma saída (COOPER et al., 2006)

No caso hipotético demonstrado na **Tabela 2.2**, as nove unidades de decisão citadas possuem como entradas “Funcionários” e “Área da Loja” “unitizadas”, ou seja, divididas pela saída “Vendas”. A “unitização” só é possível no caso assumindo-se retornos de escala constantes.

Com isso, a **Tabela 2.2** é gerada com base na relação Área/Venda e Funcionário/Venda.

	Loja								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Funcionário [Quantidade]	4,0	7,0	8,0	4,0	2,0	5,0	6,0	5,5	6,0
Área da Loja [m <sup>2</sup> ]	3,0	3,0	1,0	2,0	4,0	2,0	4,0	2,5	2,5
Venda [Mil Reais]	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 2.2 - Exemplo para duas entradas e uma saída

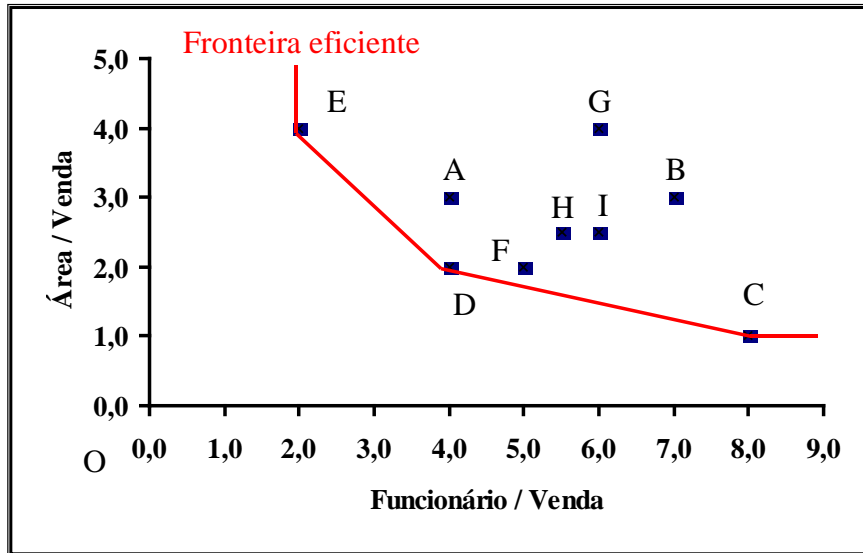


Figura 2.4 - Fronteira eficiente para duas entradas e uma saída

Do ponto de vista de eficiência, é natural julgar as lojas da **Figura 2.4** que utilizam menos unidades de entrada para obter uma unidade de saída como as mais eficientes. Desta forma, as linhas geradas pelos pontos C, D e E definem a fronteira eficiente.

Podemos notar ainda que nenhum ponto da fronteira eficiente pode melhorar uma entrada, diminuindo a quantidade de unidades de uma das entradas, sem piorar a outra.

Além desta constatação, vê-se que todos os dados foram envelopados pela Fronteira Eficiente, através da geração de linha horizontal passando por C e vertical passando por E.

A eficiência das Lojas fora da Fronteira Eficiente pode ser avaliada usando a fronteira eficiente como referência.

Na **Figura 2.5**, que avalia isoladamente a ineficiente loja A, vemos como a mesma pode ter sua ineficiência medida via criação de um segmento de reta ligando A à origem, cruzando a fronteira eficiente no ponto P. A ineficiência de A pode ser medida pela relação  $OP / OA$ .



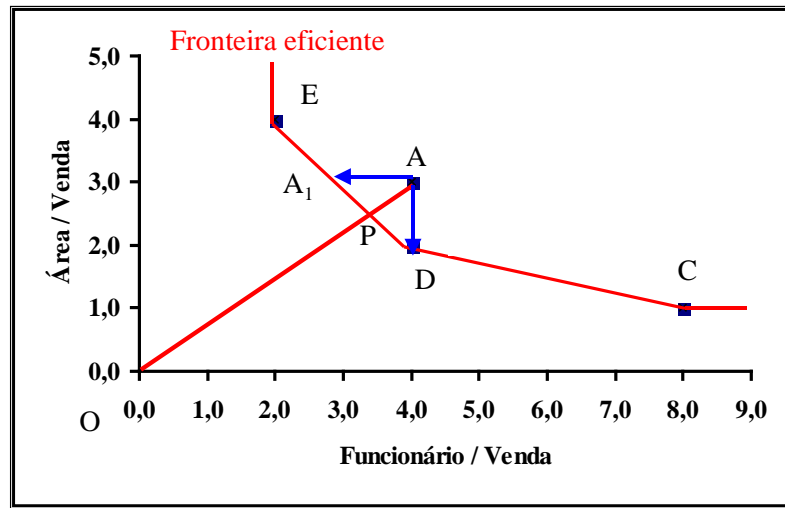


Figura 2.5 - Ineficiência da loja A, para duas entradas e uma saída

Como o ponto P da **Figura 2.5** é definido também a partir do segmento da Fronteira Eficiente gerado por D e E, podemos definir que as Lojas D e E constituem o Conjunto de Referência para a Loja A.

A unidade A pode ser melhorada através ações que levem o ponto A até o ponto P (3,4; 2,6). No entanto, qualquer ponto do segmento formado por D e A1 torna a unidade A eficiente, porém através de diferentes soluções implementadas.

Conseqüentemente, conclui-se que não há solução única para tornar uma unidade qualquer eficiente, mas sim um conjunto de soluções possíveis, definidas pela Fronteira Eficiente.

c) Exemplo para uma entrada e duas saídas (COOPER et al., 2006)

No exemplo igualmente hipotético de 7 lojas, com uma variável de entrada “Funcionários” e duas de saída “Cliente” e “Vendas”, com dados também “unitizados”, a variável de entrada foi utilizada como referência (**Tabela 2.3**).

	Loja						
	A	B	C	D	E	F	G
Funcionários [Quantidade]	1	1	1	1	1	1	1
Cientes [Quantidade]	1	2	3	4	4	5	6
Vendas [Mil Reais]	5	7	4	3	6	5	2

Tabela 2.3 - Exemplo para uma entrada e duas saídas

Desta forma, o conjunto de possibilidades de produção assim como a fronteira eficiente pode ser observada na **Figura 2.6**.

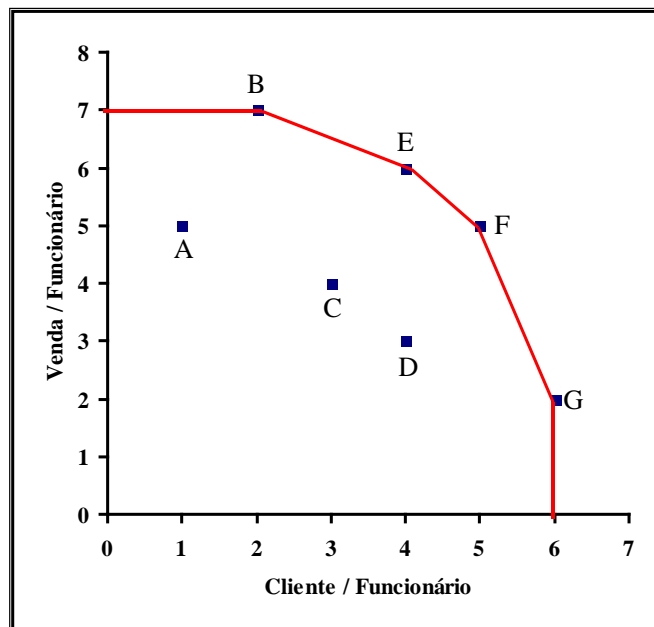


Figura 2.6 - Fronteira eficiente para uma entrada e duas saídas

As unidades A, C e D são ineficientes. A ineficiência de D, como exemplo, será definida pela relação  $OD / OP$ , e o mesmo pode ser aplicado às outras unidades, como demonstrado na **Figura 2.7**.

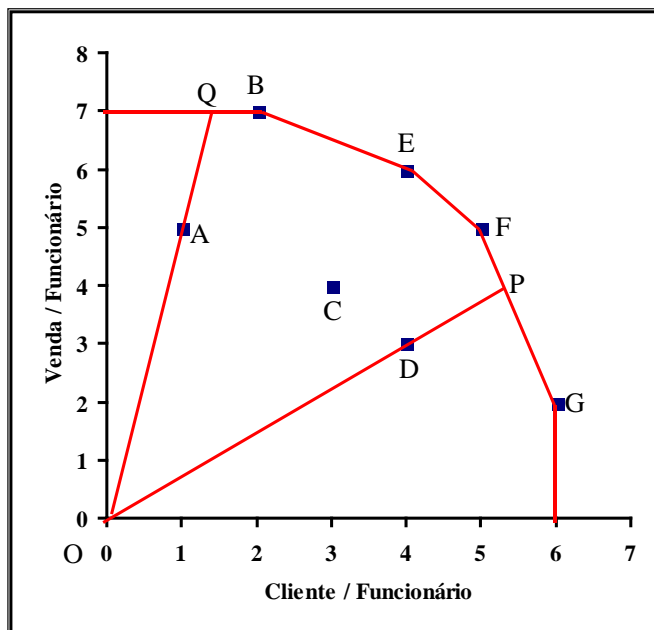


Figura 2.7 - Medição de ineficiência para uma entrada e duas saídas

O aumento de Vendas e Funcionários da Loja D, caso ocorra na mesma proporção, vai elevar naturalmente a eficiência da mesma até o ponto P. Este aumento de eficiência, quando atingido de forma proporcional, é denominado de Eficiência Técnica.

Outro tipo de ineficiência é a exemplificada pelo ponto Q, que é originado pela intersecção do prolongamento da reta OA e a linha horizontal que passa por B e, conseqüentemente, envolve todos os outros pontos ineficientes.

Outra forma de avaliar o ponto Q é a melhora da eficiência de A, mantendo as proporções de saídas Vendas & Clientes. No entanto esta melhora na eficiência técnica pelo movimento de A até Q não remove todas as ineficiências. Apesar de Q estar na Fronteira, este não está na parte eficiente da mesma. O fato pode ser também notado pelo movimento de Q até B, onde é mantida a saída Vendas, porém aumentando a saída Clientes. Assim, esta melhora em uma saída pode ser obtida sem piorar a outra saída, ou o valor de entrada, o que altera a proporção. Portanto pode-se identificar duas fontes de ineficiência no desempenho de A: primeiro a ineficiência técnica, via movimentação radial de A e depois a ineficiência de mistura, representada pela possível melhora da saída Clientes, sem piora da saída Vendas.

## **2.3 Passos típicos da Pesquisa Operacional.**

Para melhor compreensão do conceito a ser utilizado na Análise por Envoltória de Dados, será feita uma simulação da aplicação da ferramenta utilizando os passos típicos da Pesquisa Operacional, utilizando o Solver do Microsoft Excel. Serão utilizadas variáveis reais das quatorze DMU de manufatura que serão avaliadas nos capítulos posteriores.

- Definição das variáveis de decisão

O conjunto de variáveis que será alvo deste exemplo ilustrativo é composto por:

- Vendas – Saída;
- Vendas por Funcionário – Saída;
- Tempo de Estoque – Entrada;
- Custo de Pessoal – Entrada.

Vale ressaltar que, conforme Cooper et al. (2006), uma forma prática de se classificar uma variável entre saída ou recurso é a avaliação:

- Saída: quanto maior o valor da variável, melhor para a unidade em análise;
- Entrada: quanto menor o valor da variável, melhor para a unidade em análise.

A questão fundamental na aplicação da ferramenta DEA é o cálculo dos pesos a serem aplicados a cada variável. Assim, utilizando letra  $u$  para denominar as variáveis de saída e  $v$  para as entradas, as variáveis de decisão serão:

$u_{VN}$  = Peso de Vendas

$u_{VF}$  = Peso de Vendas por Funcionário

$v_{TE}$  = Peso do Tempo de Estoque

$v_{CP}$  = Peso do Custo de Pessoal

- Função Objetivo.

O objetivo é maximizar a eficiência das DMU utilizando o mesmo peso a ser aplicado pela unidade em análise, ao índice (entradas / saídas) de todas as unidades. Teremos então a seguinte função objetivo (FO):

FO – Utilizando Vendas e Tempo de Estoque [Dias] da análise.

$$\text{Max } E = (u_{VN} \times VN + u_{VF} \times VF) / (v_{TE} \times TE + v_{CP} \times CP) \quad (1)$$

Assim, usando como exemplo a DMU A, a  $FO_A$  será descrita na equação (2):

$$\text{Max } E_A = (u_{VN} \times VN_A + u_{VF} \times VF_A) / (v_{TE} \times TE_A + v_{CP} \times CP_A) \quad (2)$$

- Restrições principais.

Para classificar as eficiências, por definição as mesmas deverão apresentar sempre resultados inferiores a 1. Desta forma, a  $FO_A$  estará sujeita a (3):

$$(u_{VN} \times VN_A + u_{VF} \times VF_A) / (v_{TE} \times TE_A + v_{CP} \times CP_A) \leq 1 \quad (3)$$

E ainda:

$$(u_{VN} \times VN_B + u_{VF} \times VF_B) / (v_{TE} \times TE_B + v_{CP} \times CP_B) \leq 1 \quad (4)$$

$$(u_{VN} \times VN_C + u_{VF} \times VF_C) / (v_{TE} \times TE_C + v_{CP} \times CP_C) \leq 1 \quad (5)$$

$$(u_{VN} \times VN_D + u_{VF} \times VF_D) / (v_{TE} \times TE_D + v_{CP} \times CP_D) \leq 1 \quad (6)$$

$$(u_{VN} \times VN_E + u_{VF} \times VF_E) / (v_{TE} \times TE_E + v_{CP} \times CP_E) \leq 1 \quad (7)$$

$$(u_{VN} \times VN_F + u_{VF} \times VF_F) / (v_{TE} \times TE_F + v_{CP} \times CP_F) \leq 1 \quad (8)$$

$$(u_{VN} \times VN_G + u_{VF} \times VF_G) / (v_{TE} \times TE_G + v_{CP} \times CP_G) \leq 1 \quad (9)$$

$$(u_{VN} \times VN_H + u_{VF} \times VF_H) / (v_{TE} \times TE_H + v_{CP} \times CP_H) \leq 1 \quad (10)$$

$$(u_{VN} \times VN_I + u_{VF} \times VF_I) / (v_{TE} \times TE_I + v_{CP} \times CP_I) \leq 1 \quad (11)$$

$$(u_{VN} \times VN_J + u_{VF} \times VF_J) / (v_{TE} \times TE_J + v_{CP} \times CP_J) \leq 1 \quad (12)$$

$$(u_{VN} \times VN_K + u_{VF} \times VF_K) / (v_{TE} \times TE_K + v_{CP} \times CP_K) \leq 1 \quad (13)$$

$$(u_{VN} \times VN_L + u_{VF} \times VF_L) / (v_{TE} \times TE_L + v_{CP} \times CP_L) \leq 1 \quad (14)$$

$$(u_{VN} \times VN_M + u_{VF} \times VF_M) / (v_{TE} \times TE_M + v_{CP} \times CP_M) \leq 1 \quad (15)$$

$$(u_{VN} \times VN_N + u_{VF} \times VF_N) / (v_{TE} \times TE_N + v_{CP} \times CP_N) \leq 1 \quad (16)$$

Temos assim, representando o problema, um conjunto de equações de (2) até (16), não lineares para cada uma das 14 DMU, o que torna muito difícil sua resolução sem o auxílio do computador.

Desta forma, por se tratar de ferramenta disseminada tanto no ambiente acadêmico como no empresarial foi escolhido o Microsoft Excel para resolução das equações.

- Aplicação do Solver – Microsoft Excel.

Para a aplicação do Solver, é necessário que as equações sejam lineares.

Ainda utilizando a DMU A como referência, para trabalhar com equação linear na função objetivo é implementada mais uma restrição ao conjunto de equações, já descrito em **Restrições Principais**, definindo como o conjunto de entradas da FO igual a 1, conforme equação (17).

$$(v_{TE} \times TE_A + v_{CP} \times CP_A) = 1 \quad (17)$$

Fazendo com que a FO seja (18):

$$\text{Max } E = (u_{VE} \times RO_A + u_{VF} \times VF_A) \quad (18)$$

Linearizando as equações que compõe o conjunto de restrições, este passa a ser:

$$v_{TE} \times TE_A + v_{CP} \times CP_A = 1 \quad (19)$$

$$u_{VN} \times VN_B + u_{VF} \times VF_B - v_{TE} \times TE_B - v_{CP} \times CP_B \leq 0 \quad (20)$$

$$u_{VN} \times VN_C + u_{VF} \times VF_C - v_{TE} \times TE_C - v_{CP} \times CP_C \leq 0 \quad (21)$$

$$u_{VE} \times VN_D + u_{VF} \times VF_D - v_{TE} \times TE_D - v_{CP} \times CP_D \leq 0 \quad (22)$$

$$u_{VN} \times VN_E + u_{VF} \times VF_E - v_{TE} \times TE_E - v_{CP} \times CP_E \leq 0 \quad (23)$$

$$u_{VN} \times VN_F + u_{VF} \times VF_F - v_{TE} \times TE_F - v_{CP} \times CP_F \leq 0 \quad (24)$$

$$u_{VN} \times VN_G + u_{VF} \times VF_G - v_{TE} \times TE_G - v_{CP} \times CP_G \leq 0 \quad (25)$$

$$u_{VN} \times VN_H + u_{VF} \times VF_H - v_{TE} \times TE_H - v_{CP} \times CP_H \leq 0 \quad (26)$$

$$u_{VN} \times VN_I + u_{VF} \times VF_I - v_{TE} \times TE_I - v_{CP} \times CP_I \leq 0 \quad (27)$$

$$u_{VN} \times VN_J + u_{VF} \times VF_J - v_{TE} \times TE_J - v_{CP} \times CP_J \leq 0 \quad (28)$$

$$u_{VN} \times VN_K + u_{VF} \times VF_K - v_{TE} \times TE_K - v_{CP} \times CP_K \leq 0 \quad (29)$$

$$u_{VN} \times VN_L + u_{VF} \times VF_L - v_{TE} \times TE_L - v_{CP} \times CP_L \leq 0 \quad (30)$$

$$u_{VN} \times VN_M + u_{VF} \times VF_M - v_{TE} \times TE_M - v_{CP} \times CP_M \leq 0 \quad (31)$$

$$u_{VN} \times VN_N + u_{VF} \times VF_N - v_{TE} \times TE_N - v_{CP} \times CP_N \leq 0 \quad (32)$$

Assim, o novo conjunto composto por agora 16 equações lineares que deve ser aplicado a cada uma das 14 DMU, está pronto para ser introduzido no Microsoft Excel, com o

auxílio do suplemento Solver. O fato exige tempo elevado de preparação de planilhas, uma vez que é esperado que alternativas de modelos e grupos de variáveis sejam realizados.

## 2.4 Modelos CCR e BCC

Dois modelos para a aplicação da DEA serão utilizados neste trabalho;

- CCR, sigla para Charnes, Cooper e Rhodes, que apresenta restrição de utilização de números negativos bem como não possibilita que os mesmos sejam tratados previamente. Além disso, o modelo assume retorno constante de escala, como pode ser observado na **Figura 2.8**.

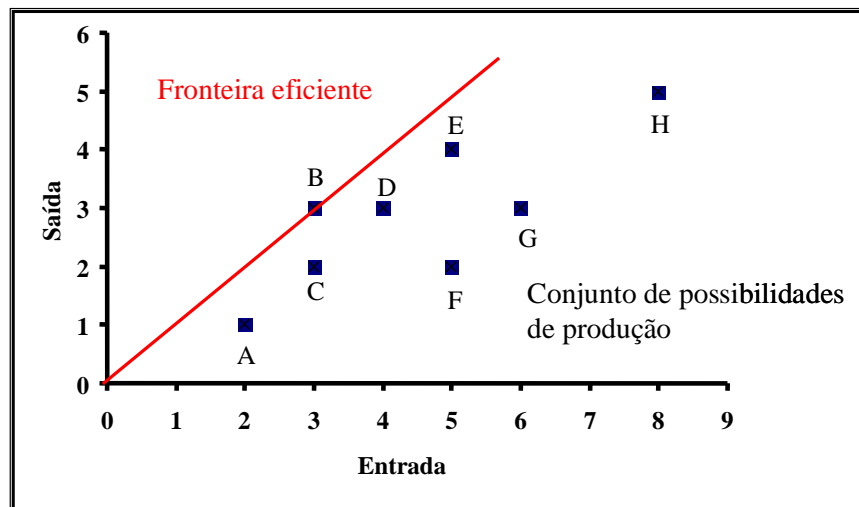


Figura 2.7 - Exemplo ilustrativo de modelo CCR, retorno constante de escala

- BCC, sigla para Banker, Charnes e Cooper, que torna possível a utilização de números negativos, desde que sejam tratados inicialmente e não estejam em variáveis para qual o modelo é direcionado. A fronteira de eficiência do modelo BCC gera uma forma quase que convexa enquanto passam pelas DMU's existentes. A fronteira possui então partes lineares gerando uma característica geral côncava o que, como apresentado na **Figura 2.9**, tem retornos variáveis de escala (COOPER et al. 2006).

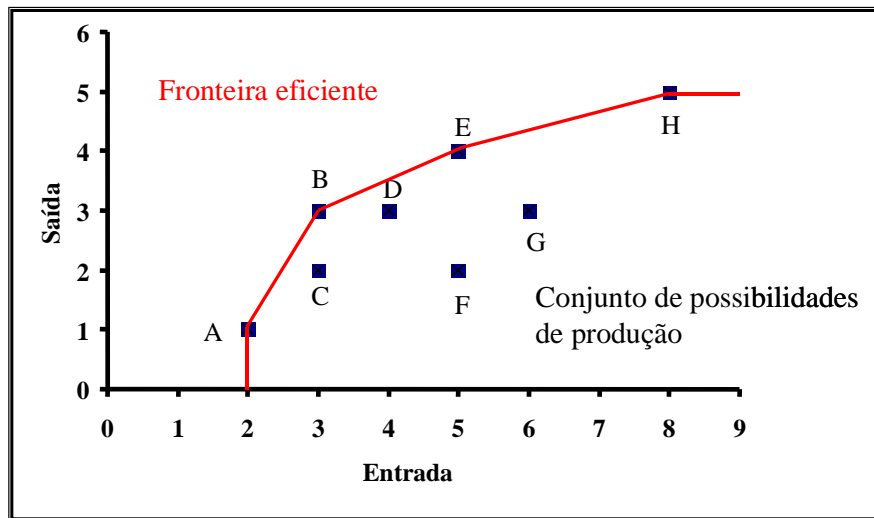


Figura 2.8 - Exemplo ilustrativo modelo BCC, retorno variável de escala

## 2.5 Limitações do DEA

Algumas limitações da técnica DEA podem ser então ressaltadas, que são importantes para adequada aplicação da mesma:

- Muitas variáveis podem fazer com que mais unidades sejam eficientes. Como já citado, há a ponderação excessiva de um insumo ou produto. Assim, o número de variáveis não deve exceder  $1/3$  do número de unidades;
- Como DEA resolve um programa linear para cada unidade sob análise, problemas extensos podem levar a um tempo computacional elevado. A utilização de softwares específicos diminui principalmente o tempo de preparação dos dados;
- DEA estima bem o desempenho “relativo”, mas converge muito vagarosamente para o desempenho “absoluto” porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou no desejável. O método não se presta a rankings absolutos.

## 2.6 *Balanced Scorecard*

Para a análise comparativa da eficiência entre as unidades de fabricação serão avaliados indicadores de desempenho obtidos do sistema de gestão *Balanced Scorecard* (BSC). Então, é importante que se faça considerações sobre a metodologia.

BSC é um método usado para gestão de negócio que busca alinhamento da visão, da estratégia e dos indicadores de desempenho da empresa. É baseado em quatro perspectivas:

- Financeira;

- Mercado;
- Processos internos;
- Aprendizado e crescimento.

Conforme Campos (1998), BSC é uma sigla que pode ser traduzida como Cenário Balanceado, pois a escolha dos indicadores não se restringe apenas aos econômicos e financeiros. Também envolvem indicadores focados em ativos intangíveis como desempenho no mercado, desempenho dos processos internos, necessidades das pessoas, inovação e tecnologia. A somatória destes fatores visa atingir o desempenho desejado por estas organizações e conseqüentemente a geração de valor futuro.

## 2.7 Considerações finais

Nota-se, inicialmente, que os conceitos da Teoria da Produção se misturam e se complementam com os de Eficiência e Produtividade e em conjunto com os conceitos de Pesquisa Operacional formam parte importante do desenvolvimento dos trabalhos de Análise por Envoltória de Dados.

Vale ressaltar que as definições e exemplos ilustrativos de Cooper et al., 2006, descritos no **Item 2.2**, sub-itens “a) Exemplo de uma entrada e uma saída”, “b) Exemplo para duas entradas e uma saída” e “c) Exemplo para uma entrada e duas saídas”, também contextualizam a aplicação prática, que virá a seguir. Os conceitos e regras da Pesquisa Operacional também são relevantes, uma vez que a análise de eficiências também visa encontrar as melhores soluções para facilitar o processo de tomada das melhores decisões. Importante também os conceitos dos modelos CCR e BCC, que serão utilizados no trabalho.

No **Item 2.3** o Pesquisador explora o fato de que, como a base da avaliação de eficiência via Análise Envoltória de Dados é a Pesquisa Operacional, mesmo com a aplicação de programas de auxílio ainda mais velozes e simples do que a utilização única do Solver – Excel, por exemplo, para a adequada interpretação dos resultados das análises é fundamental possuir os conceitos típicos da Pesquisa Operacional bem como o adequado entendimento dos passos para aplicá-los na análise de eficiência.

Os modelos CCR e BCC, que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho, são apresentados no **Item 2.4**.

Conceitos importantes de BSC são descritos no **Item 2.5**, uma vez que os dados utilizados foram extraídos do sistema de gestão de desempenho da empresa, que é baseado no BSC.



### 3. Aplicação do DEA

#### 3.1 Considerações iniciais

A Empresa em estudo do setor automobilístico foi escolhida por apresentar características relevantes, já citadas no capítulo 1, suficientes para justificar a aplicação da ferramenta, bem como pela possibilidade do Pesquisador obter dados reais e relevantes bem como de influenciar os resultados da análise.

Como podem ser observadas na **Figura 3.1**, as 14 DMU de manufatura de um único componente da indústria automobilística são distribuídas nos Estados Unidos da América, México, Brasil, Argentina, Portugal, Espanha, Alemanha, China e Austrália e fazem parte de um Grupo de Produto de autopeças único, caracterizando, da mesma forma, um processo de fabricação típico. Assim, fornecedores e respectivas matérias primas, tecnologia de manufatura, estrutura básica de custos fixos, variáveis, despesas e logística de distribuição, seguem padrão típico característico do mesmo.

Assim sendo, os preços dos produtos utilizados nos mercados regionais são similares entre as regiões. A constatação se deve ao fato de que, as oscilações típicas de cada mercado são minimizadas, pois os clientes globais possuem informações mercadológicas de cada região e buscam as ofertas mais competitivas.



Figura 3.1 - Distribuição geográfica das 14 unidades de manufatura

## 3.2 Coleta de dados

Dados gerenciais de cada DMU foram obtidos pela estrutura de indicadores do BSC. O período avaliado foi o acumulado do primeiro trimestre de 2008, visando atenuar as eventuais oscilações de desempenho mensais.

Indicador		Peso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Resultado Operacional	S Mil Euro	6,0	3.314	-446	-586	-744	392	15	-114	-14	73	-143	701	5.836	-28	-49
Estoque	E Mil Euro	0,25	6.558	1.648	2.854	3.277	1.277	917	919	1.683	2.073	2.594	6.104	7.771	932	1.261
Estoque - 13pa	E Dias	0,7	24,5	43,6	33,1	42,4	15,0	44,4	24,2	34,1	64,4	35,1	91,0	23,0	42,5	81,0
Funcionários	E Qtde	0,7	532	107	203	219	210	30	118	183	61	461	563	2615	33	132
Custo de Pessoal	E % Venda	0,7	14,3	55,5	39,0	46,0	31,3	22,0	41,5	87,8	20,8	24,3	26,1	27,3	45,8	11,4
Vendas por Funcionário	S Mil Euro	0,7	41,0	21,9	26,5	29,3	39,4	45,7	25,9	16,2	45,9	9,4	10,2	13,8	24,3	8,0
ROCE - 13pa	S %	1,2	50,1	-29,2	-43,7	-18,8	27,3	8,3	-8,4	4,5	13,7	-0,3	29,3	48,9	-2,3	2,8
Prazo de entrega	S % atend.	0,5	84	96	72	40	100	63	96	97	100	65	89	86	86	71
PPM	E -	0,5	8	0	250	27	2	0	0	0	1	0	0	23	0	0
Vendas	S Mil Euro		21.589	2.369	5.502	6.426	8.282	1.371	3.057	2.972	2.797	4.337	5.721	34.753	803	1.056

Tabela 3.1 - Unidades de manufatura de A até N, variáveis e dados correspondentes

Dados podem ser observados na **Tabela 3.1**. Os tipicamente monetários foram transformados em moeda única. A moeda escolhida foi o Euro.

As paridades utilizadas na conversão foram as mesmas utilizadas no momento da pesquisa pela empresa objeto de análise, descritas na **Tabela 3.2**.

País de Origem	Moeda de Origem	Valor em Euro
Estados Unidos	USD 1,00	0,6923
Argentina	ARG 1,00	0,2180
Austrália	AUD 1,00	0,6095
China	CNY 1,00	0,0991

Tabela 3.2 - Paridade utilizada entre as diferentes moedas e o Euro

Para a definição da chamada eficácia de planejamento de cada unidade de fabricação, a empresa leva ainda em conta a comparação dos Resultados Obtidos (RO) com os definidos como Meta (M) nos respectivos Planos de Negócio. Os critérios para definição da pontuação relativa a cada indicador de cada unidade de fabricação são descritos na **Tabela 3.3**. Assim, observa-se que caso o RO seja igual a M, a pontuação atingida pela unidade de fabricação naquele indicador será igual a 10.

Resultado Obtido (RO)	Pontuação
$RO \geq \text{Meta} + 30\%$	8,0
$M + 20\% \leq RO < M + 30\%$	8,5
$M + 10\% \leq RO < M + 20\%$	9,0
$M < RO < M + 10\%$	9,5
$RO = M$	10
$M > RO > M - 10\%$	7,0
$M - 10\% \geq RO > M - 20\%$	5,0
$M - 20\% \geq RO > M - 30\%$	3,0
$RO \leq \text{Meta} - 30\%$	1,0

Tabela 3.3 – Critérios para eficácia de planejamento

A ponderação dos indicadores segue os pesos definidos pela Alta Direção e descritos na **Tabela 3.1**. Os resultados são consolidados em gráfico tipo radar, demonstrado na **Figura 3.2**, que é um método de classificação de “Eficiência BSC” das DMU de manufatura, fato que pode também ser creditado à interferência do Pesquisador no objeto de estudo. No entanto, para garantir a adequada aplicação dos conceitos apresentados, a mesma será nomeada como “Eficácia de Planejamento”. As eficácias calculadas com base em pesos subjetivos, descritos na coluna “Peso” da **Tabela 3.1**, visam aproximar a análise da Eficácia de Planejamento às prioridades definidas pela matriz.

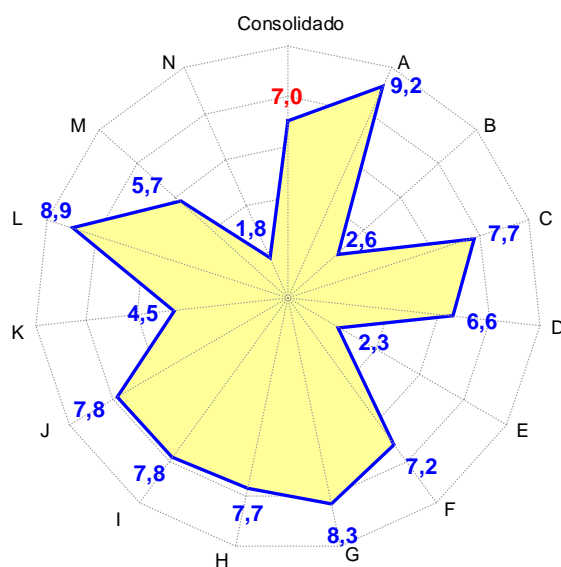


Figura 3.2 – Eficácia de planejamento das DMU

A citada **Figura 3.2** foi aprovada pela Alta Direção da empresa alvo da pesquisa e passou a ser parte integrante do quadro de indicadores mensais de gestão global do grupo de produto em análise, denominado BSC, gerenciado pelo Departamento Controladoria Global da empresa.

### 3.3 Análise e realimentação dos dados

De acordo com as definições de eficiência de Cooper et al. (2006) e eficácia e produtividade de Kassai (2002), entende-se que o que está aqui chamado de Eficácia de Planejamento da empresa alvo da pesquisa é uma combinação de conceitos com o objetivo de classificar as diversas DMU de manufatura e gerar referências para melhoria tanto dos resultados obtidos quanto do planejamento efetuado no momento da elaboração dos respectivos Planos Econômicos.

Isto posto, quando se busca idealizar a eficiência, seguindo o conceito de Cooper et al. (2006), das DMU de manufatura usando-se ainda os mesmos pesos subjetivos como base da análise, obtém-se a DMU L como a de melhor eficiência e referência para outras DMU. No entanto, com base na **Figura 3.2** e na linha “Eficácia de Planejamento” da **Tabela 3.3**, notamos que a DMU A é tida como a mais eficaz. Nota-se na **Tabela 3.4** a primeira comparação dos conceitos aplicados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Produtividade (pesos BSC)	10,3668	-5,1379	7,7846	-4,5102	5,4586	0,5401	-1,9682	-0,0399	0,8901	-0,9063	2,2950	10,6833	-0,3928	-0,5908
Eficiência normalizada	0,9704	-0,4809	0,7287	-0,4222	0,5110	0,0506	-0,1842	-0,0037	0,0833	-0,0848	0,2148	1,0000	-0,0368	-0,0553
Eficiência BSC (com análise metas)	9,2	2,6	7,7	6,6	2,3	7,2	8,3	7,7	7,8	7,8	4,5	8,9	5,7	1,8

Tabela 3.4 - Eficiência idealizada das DMU

Evidencia-se ainda que, embora faça parte integrante dos indicadores de gestão, a saída Vendas, em unidade monetária, não é parte da avaliação da eficiência entre DMU, demonstrado no gráfico tipo aranha da **Figura 3.2**. Da mesma forma, o indicador Vendas não fez parte da análise inicial das eficiências normalizadas descrita na **Tabela 3.4**. Quando se acrescenta este indicador obtém-se uma nova classificação de eficiências, como pode ser visto na **Tabela 3.5**.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Produtividade (pesos BSC)	49,9870	-18,6852	-18,4343	-20,7612	13,4407	1,9143	-5,2673	-0,3151	4,7769	-2,3451	8,9187	18,8048	-1,8134	-1,8200
Eficiência idealizada	1,0000	-0,3738	-0,3688	-0,4153	0,2689	0,0383	-0,1054	-0,0063	0,0956	-0,0469	0,1784	0,3762	-0,0363	-0,0364
Eficácia de Planejamento (Eficiência BSC)	9,2	2,6	7,7	6,6	2,3	7,2	8,3	7,7	7,8	7,8	4,5	8,9	5,7	1,8

Tabela 3.5 - Eficiência idealizada das DMU, considerando Vendas

Com esta nova análise descrita na **Tabela 3.5**, nota-se DMU A como a mais eficaz do grupo em análise e por consequência a melhor referência para outras DMU.

Além disso, tanto na **Tabela 3.4** como na **Tabela 3.5** nota-se várias unidades de fabricação com valores negativos de eficiência idealizada, fato que deverá ser tratado adequadamente antes durante a aplicação da DEA, metodologia a ser utilizada nesta pesquisa.

### 3.4 Seleção de variáveis

De acordo com Cooper et al. (2006), para a aplicação da DEA de forma a obter resultados conclusivos, é desejável que o número de DMU exceda a soma do número de entradas e saídas em mais de três vezes, sob pena de muitas DMU serem classificadas como eficientes e a discriminação de eficiências entre as mesmas tornar-se questionável, em função de número de grau de liberdade elevado.

Levando em consideração que foram obtidos dados relativos a 14 unidades de fabricação, poderemos utilizar no máximo quatro variáveis por análise. Desta forma, serão feitas várias classificações de variáveis em grupos ao longo do trabalho.

Importante ressaltar que os indicadores foram classificados como:

- Saída – quanto maior o valor do mesmo, melhor para a empresa alvo;
- Entrada – quanto menor o valor do mesmo, melhor para a empresa alvo.

Inicialmente serão eliminadas as variáveis que possuem correlação entre si. Será ainda avaliado o impacto da decisão de inclusão de variáveis na análise na classificação das unidades de fabricação quanto às suas eficiências.

A análise de correlação linear foi aplicada com o objetivo de identificar relações de casualidade que determinam insumos e produtos ou a existência de informações redundantes.

Para a adequada análise, foram acrescentados indicadores que não fazem parte do BSC da empresa alvo da pesquisa, mas compõem ou utilizam mesmas bases para compor estes indicadores, como Vendas [Mil Euro], Capital Empregado [Dias] e Custo de Pessoal [Mil Euro] (**Tabela 3.6**).

Vale ainda lembrar que, como utilizado por Kassai (2002), a relação entre as variáveis pode ter dois significados:

1. Causalidade – o comportamento de uma variável influencia o comportamento de outra, no mesmo sentido (correlação positiva) ou em sentido oposto (correlação negativa);
2. Redundância – as variáveis tem comportamento próximo, pois se referem ao (explicam o) mesmo aspecto do fenômeno.

	Resultado Operacional [Mil Euro]	Estoque [Mil Euro]	Estoque - 13pa [dias]	Funcionários [qtde]	Custo de Pessoal [% Venda]	Vendas por Funcionário [Mil Euro]	ROCE - 13pa [%]	Prazo de entrega [%]	PPM	Vendas [Mil Euro]	Capital Empregado 13pa [dias]	Custo de Pessoal [Mil Euro]
Resultado Operacional [Mil Euro]	1											
Estoque [Mil Euro]	<b>0,81</b>	1										
Estoque - 13pa [dias]	-0,28	0,00	1									
Funcionários [qtde]	<b>0,89</b>	<b>0,78</b>	-0,22	1								
Custo de Pessoal [% Venda]	-0,31	-0,30	-0,27	-0,18	1							
Vendas por Funcionário [Mil Euro]	-0,06	-0,19	-0,31	-0,32	-0,19	1						
ROCE - 13pa [%]	<b>0,77</b>	<b>0,61</b>	-0,04	<b>0,56</b>	-0,43	0,10	1					
Prazo de entrega [%]	0,19	-0,04	-0,10	0,04	0,21	0,07	0,30	1				
PPM	-0,12	0,08	-0,16	0,00	0,05	0,02	-0,50	-0,23	1			
Vendas [Mil Euro]	<b>0,96</b>	<b>0,84</b>	-0,40	<b>0,90</b>	-0,25	-0,03	<b>0,66</b>	0,06	0,04	1		
Capital Empregado 13pa [dias]	0,43	0,34	0,31	0,45	-0,51	-0,50	0,35	-0,24	-0,14	0,38	1	
Custo de Pessoal [Mil Euro]	<b>0,84</b>	<b>0,73</b>	-0,44	<b>0,92</b>	0,04	-0,17	0,46	0,05	0,10	0,92	0,28	1

Tabela 3.6 – Indicadores de correlação linear entre as variáveis

Identificam-se assim as seguintes variáveis e serão feitas as seguintes análises causais das correlações cujos respectivos P-value forem menores de 0,05, em ordem decrescente de correlação:

- $0,96 = \text{Vendas [Mil EURO]} \times \text{Resultado Operacional [Mil EURO]}$  – P-value = 0,000 – tanto o número relativo obtido como a forte influência observada da variável Vendas no cálculo da variável Resultado Operacional gera o entendimento de que há forte correlação entre as variáveis, bem como uma forte relação causal entre as mesmas;
- $0,92 = \text{Funcionários [quantidade]} \times \text{Custo do Pessoal [Mil Euro]}$  – P-value = 0,000 – esperada elevada correlação entre estas duas variáveis de entrada. Assim, as mesmas não poderão fazer parte da mesma análise DEA;
- $0,90 = \text{Vendas [MIL EURO]} \times \text{Funcionários [quantidade]}$  – P-value = 0,000 – o Pesquisador entende como justificável o elevado número relativo e, como se trata de mesma família de produto e de correspondentes processos similares de fabricação, é esperado que as variáveis Vendas quantidade de Funcionários oscilem simultaneamente e, portanto possuem uma forte relação causa-efeito;
- $0,89 = \text{Funcionários [quantidade]} \times \text{Resultado Operacional [Mil EURO]}$  – P-value = 0,000 – o Pesquisador entende que mesmo como a quantidade de Funcionários possui a já demonstrada elevada correlação com Vendas e esta também influencia

de forma correlacionada o Resultado Operacional, como será visto a seguir, há correlação entre as mesmas. Porém, não há relação causal entre as duas variáveis;

- $0,84 = \frac{\text{Resultado Operacional [Mil EURO]}}{\text{Custo de Pessoal [Mil EURO]}}$  – P-value = 0,000 – é de conhecimento do Pesquisador que o Custo de Pessoal representa, em média, 30% do Custo Operacional. Desta forma, além de existir a correlação há relação de casualidade entre os mesmos. Porém, Vendas é uma variável de saída e Custo de Pessoal um recurso, o que não inviabiliza a participação dos mesmos na mesma análise;
- $0,84 = \frac{\text{Vendas [Mil EURO]}}{\text{Estoque [Mil EURO]}}$  – P-value = 0,000 – é esperado que os valores absolutos do Estoque sigam as oscilações típicas dos valores absolutos de Vendas. Assim, no entender do Pesquisador, justifica-se o elevado nível de correlação identificado bem como se entende que há relação causal entre as variáveis;
- $0,81 = \frac{\text{Estoque [Mil EURO]}}{\text{Resultado Operacional [Mil EURO]}}$  – P-value = 0,000 – no entender deste Pesquisador não há relação de causa-efeito entre os indicadores, uma vez que o Estoque é função do capital empregado em Matéria Prima, Estoque em Processo e Estoque Acabado, sendo influenciado pelo custo de cada produto nas respectivas etapas descritas, e o Resultado Operacional é função da subtração de Vendas [Euro] e Custo Operacional, custo direto, indireto e despesa operacionais e administrativas. Portanto esta elevada correlação obtida não será considerada;
- $0,78 = \frac{\text{Funcionários [quantidade]}}{\text{Estoque [Mil EURO]}}$  – P-value = 0,001 – embora não haja uma relação de causa-efeito entre estas variáveis, como tanto a quantidade de Funcionários como o Estoque possuem a já concluída forte correlação com Vendas, o Pesquisador entende como justificável a observada correlação entre estes indicadores;
- $0,77 = \frac{\text{ROCE [\%]}}{\text{Resultado Operacional [Mil EURO]}}$  – P-value = 0,001 – a própria formula de cálculo do % ROCE, Retorno do Capital Empregado, leva o Resultado Operacional como denominador, sendo o Capital Empregado, fruto do Estoque, contas a receber e contas a pagar, o numerador da mesma. Assim, no entender do Pesquisador, justifica-se a correlação observada e há relação de redundância entre as variáveis;

- $0,73 = \text{Custo do Pessoal [Mil Euro]} \times \text{Estoque [Mil Euro]} - \text{P-value} = 0,003$  – novamente, não há uma relação de causa–efeito entre estas variáveis, no entanto a quantidade de Funcionários como o Estoque possuem a já concluída forte correlação com Vendas,
- $0,66 = \text{Vendas [Mil Euro]} \times \text{ROCE [\%]} - \text{P-value} = 0,011$  – naturalmente o valor de venda faz parte do cálculo do ROCE, portanto é justificável esta elevada correlação;
- $0,61 = \text{ROCE [\%]} \times \text{Estoque [Mil Euro]} - \text{Pvalue} = 0,021$  – forte relação causa–efeito pode ser notada entre estas variáveis, até porque a variável Estoque é levada em conta no cálculo do ROCE. Justifica-se então a correlação entre as mesmas;
- $0,56 = \text{ROCE [13pa]} \times \text{Funcionários [quantidade]} - \text{P-value} = 0,039$  – forte correlação, embora a quantidade de funcionários não faça parte do cálculo do ROCE, mas sim o Custo de Pessoal [Euro]. Como este custo possui forte influência no custo total do produto, ha uma justificável correlação.

Abaixo de 0,56 não foi identificada correlação entre as variáveis, uma vez que o P-value passa a ser maior que 0,050.

Vale ainda ressaltar que é importante que se verifique a correlação entre as variáveis de entrada e saída de forma a avaliar se a primeira possui poder associativo sobre a segunda. A associação entre as variáveis de entrada e saída é importante, pois, embora não tenha poder explicativo, sugere que as variáveis estão relacionadas. Quanto mais próximo a correlação resultante estiver do número 1 maior o grau de associação.

Para chegar a resultados conclusivos no que tange a seleção de características, garantindo o atendimento à restrição de no máximo quatro variáveis por processo de análise, foram eliminadas variáveis de entrada com elevada correlação entre si. O mesmo critério foi utilizado para eliminar variáveis de saída. Desta forma, as seguintes variáveis foram eliminadas:

- Restrição a Funcionários [quantidade], por ser uma variável de saída e apresentar elevada correlação com a variável de saída Estoque [Mil Euro]. Porém, como não há relação direta de casualidade entre elas, serão avaliadas mas em diferentes momentos de análise;
- ROCE (%), por ser uma variável de saída e apresentar elevada correlação e redundância com Resultado Operacional [Mil Euro];



- Prazo de Entrega [%] e PPM (defeituosos por milhão, identificados no mercado), por não apresentarem poder discriminatório e com base no fato de que, sensíveis e possíveis oscilações pontuais nas mesmas podem não influenciar a produtividade das DMU;
- Vendas [Mil Euro] que por ser uma saída que apresentou forte correlação com outra saída Resultado Operacional [Mil Euro];
- Custo do Pessoal em relação a Vendas [%] será substituído por Custo do Pessoal [Mil Euro], visando diminuir a utilização de relações entre variáveis em estudo.

Embora haja ainda forte relação causa-efeito das variáveis de entrada “Estoque [Mil Euro]” e “Estoque [Dias]”, a intensidade identificada na correlação linear foi muito baixa (0,003). Isto se deve a influência do custo do produto vendido no cálculo do Estoque [Dias], que varia de DMU para DMU. Assim, as variáveis permanecerão no espectro de análise.

Desta forma, serão consideradas as seguintes variáveis:

- Saídas – Resultado Operacional [Mil Euro] em alternância com Vendas [Mil Euro], pois possuem forte correlação, e Vendas por Funcionário [Mil Euro];
- Recursos – Estoque [Mil Euro], em alternância com Estoque [Dias], Custo do Pessoal [Mil Euro] e Funcionários [quantidade].

Como o limite de quatro variáveis de análise foi ultrapassado, serão efetuadas duas análises por envoltória de dados, alternando variáveis por apresentarem elevada correlação ou tratarem do mesmo aspecto do fenômeno, portanto com redundância entre elas.

### **3.5 Eficiências pelo cálculo dos pesos via DEA**

As seis variáveis de estudo foram isoladas para tratamento em grupos, com quatro variáveis cada, alternando a participação das entradas Estoque [Mil Euro] e Estoque [Dias] assim como as saídas Vendas [Mil Euro] e Resultado Operacional [Mil Euro] em cada um dos grupos.

No entanto, em função de termos valores negativos em alguns dados da variável Resultado Operacional, os mesmos deverão ser adequadamente tratados. Assim, somando o valor mais negativo desta variável em todas as DMU, obtém-se o grupo de dados para serem avaliados, já tratados, descrito na ***Tabela 3.7.***

Indicador			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Resultado Operacional	S	Mil Euro	4.058	298	158	0	1.136	759	630	730	818	601	1.445	6.580	716	695
Estoque	E	Mil Euro	6.558	1.648	2.854	3.277	1.277	917	919	1.683	2.073	2.594	6.104	7.771	932	1.261
Estoque - 13pa	E	Dias	24,5	43,6	33,1	42,4	15,0	44,4	24,2	34,1	64,4	35,1	91,0	23,0	42,5	81,0
Custo de Pessoal	E	% Vendas	14,3	55,5	39,0	46,0	31,3	22,0	41,5	87,8	20,8	24,3	26,1	27,3	45,8	11,4
Vendas por Funcionário	S	Mil Euro	41,0	21,9	26,5	29,3	39,4	45,7	25,9	16,2	45,9	9,4	10,2	13,8	24,3	8,0
Vendas	S	Mil Euro	21.589	2.369	5.502	6.426	8.282	1.371	3.057	2.972	2.797	4.337	5.721	34.753	803	1.056
Custo de Pessoal	E	Mil Euro	3.087	1.315	2.146	2.956	2.592	302	1.268	2.609	582	1.054	1.493	9.488	368	120
Funcionários	E	Qtde	532	107	203	219	210	30	118	183	61	461	563	2615	33	132
Capital Empregado	E	Dias	29,4	5,2	4,8	17,4	10,6	3,7	4,6	3,7	5,6	27,1	19,3	54,4	2,1	88,2

Tabela 3.7 - Valores das variáveis com números negativos tratados

Desta forma, dois tipos de modelos serão processados, utilizando DEA Solver, que customiza a aplicação do suplemento Solver do Microsoft Excel para as necessidades da técnica DEA e que foi desenvolvido por Cooper (2006).

Caso os modelos fossem processados utilizando apenas o Solver Excel o tempo de estruturação de cada conjunto de equações para cada grupo de variáveis selecionadas, aplicadas a cada DMU, seria muito maior do que com fazendo-o com o auxílio de um programa computacional disponível. Optou-se por utilizar o DEA Solver, pois segue os conceitos estabelecidos por Cooper et al. (2006), utilizado como referência neste trabalho.

Com os modelos mais utilizados em DEA já estão estabelecidos no programa, há a maior facilidade de alternância do uso de modelos CCR e BCC com dados utilizados no trabalho:

a) Primeiro conjunto de variáveis, modelo CCR.

Foi aplicado o modelo CCR, conforme **Figura 2.6**, direcionado a Entradas, utilizando as seguintes variáveis:

- Vendas [Mil Euro] – Saída;
- Vendas por Funcionário [Mil Euro] – Saída;
- Estoque [dias] – Entrada;
- Custo de Pessoal [% Vendas] – Entrada.

A classificação dos resultados obtidos quanto à eficiência das unidades de manufatura é observável na **Tabela 3.8**.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	L	1	L
1	A	1	A
1	E	1	E
4	I	0,770	A
5	F	0,725	A
6	G	0,448	A
7	C	0,390	A
8	D	0,347	A
9	M	0,288	A
10	N	0,245	A
11	B	0,238	A
12	H	0,181	E
13	J	0,154	A
14	K	0,145	A

Tabela 3.8 - Classificação de eficiência de DMU, com modelo CCR orientado a entrada, variáveis Vendas, Vendas por Funcionário, Estoque [dias] e Custo Pessoal [% Vendas]

As unidades de fabricação L, A e E se mostraram eficientes, para o grupo de variáveis escolhido, enquanto que a DMU K possui a menor eficiência. Ainda na **Tabela 3.8** pode-se observar que a melhor referência para a maioria das DMU é a unidade A, exceção feita às DMU L e E, que são eficientes, e a DMU H, que tem na como referência a DMU E.

É importante ressaltar o conceito utilizado para elaboração do programa DEA Solver Cooper (2006) em relação a variável não negativa denominada “Variável Folga”. Em Pesquisa Operacional, a cada uma das desigualdades é adicionada uma variável não negativa chamada “Variável Folga”, para que o sistema de equações de desigualdade lineares restritivas seja transformado em um sistema de equações lineares. Assim, esta variável folga aplicada à ferramenta DEA representa qual variável e quanto à mesma necessita ser melhorada para atingir a desejada eficiência igual a um. Na planilha de resultados com uso programa DEA Solver Cooper (2006) a variável folga é representada pela coluna denominada Projeção, em valores absolutos.

As análises a seguir são válidas apenas para o conjunto de unidades de fabricação definidos e variáveis escolhidas. Será então feita a análise deste grupo de variáveis para cada unidade de fabricação.

- DMU L, A e E – são eficientes, sendo a unidade A a de melhor referência para maioria das outras DMU. Assim, nota-se que a proposta de valores descritos na coluna “Projeção” das *Tabelas 3.9, 3.10 e 3.11* coincide com os dados iniciais utilizados para a análise do grupo de variáveis em questão, mostrados na respectiva coluna “Dado”.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	23	23,000	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	27,3	27,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	34753	34753	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	13,8	13,800	0,000	0,00%

Tabela 3.9 - Análise das variáveis da DMU L

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,5	24,500	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	14,3	14,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	21589	21589	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	41	41,000	0,000	0,00%

Tabela 3.10 - Análise das variáveis da DMU A

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	15	15,000	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	31,3	31,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	8282	8282	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	39,4	39,400	0,000	0,00%

Tabela 3.11 - Análise das variáveis da DMU E

- DMU I – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,77, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 764% e diminuir as entradas em Estoque 57% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 23%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>I</b>	<b>0,770</b>			
Estoque-dias	64,4	27,428	-36,972	-57,41%
CustodePessoal-% Vendas	20,8	16,009	-4,791	-23,03%
Vendas-MilEURO	2797	24169	21372,257	764,14%
VendasPFuncionário-MilEURO	45,9	45,900	0,000	0,00%

Tabela 3.12 - Análise das variáveis da DMU I

- DMU F – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,725, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 1.000% e diminuir as entradas em Estoque 38% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 26%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>F</b>	<b>0,725</b>			
Estoque-dias	44,4	27,309	-17,091	-38,49%
CustodePessoal-% Vendas	22	15,939	-6,061	-27,55%
Vendas-MilEURO	1371	24064	22693,083	999,90%
VendasPFuncionário-MilEURO	45,7	45,700	0,000	0,00%

Tabela 3.13 - Análise das variáveis da DMU F

- DMU G – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,448, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 124% e diminuir as entradas em Estoque 55% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 55%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>G</b>	<b>0,448</b>			
Estoque-dias	24,2	10,833	-13,367	-55,24%
CustodePessoal-% Vendas	41,5	18,577	-22,923	-55,24%
Vendas-MilEURO	3057	6863	3806,413	124,53%
VendasFuncionário-MilEURO	25,9	25,900	0,000	0,00%

Tabela 3.14 - Análise das variáveis da DMU G

- DMU C – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,39, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 76% e diminuir as entradas em Estoque 61% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 61%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>C</b>	<b>0,390</b>			
Estoque-dias	33,1	12,923	-20,177	-60,96%
CustodePessoal-% Vendas	39	15,227	-23,773	-60,96%
Vendas-MilEURO	5502	9706	4203,624	76,40%
VendasFuncionário-MilEURO	26,5	26,500	0,000	0,00%

Tabela 3.15 - Análise das variáveis da DMU C

- DMU D – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,347, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 76% e diminuir as entradas em Estoque 65% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 65%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>D</b>	<b>0,347</b>			
Estoque-dias	42,4	14,714	-27,686	-65,30%
CustodePessoal-% Vendas	46	15,963	-30,037	-65,30%
Vendas-MilEURO	6426	11351	4924,882	76,64%
VendasFuncionário-MilEURO	29,3	29,300	0,000	0,00%

Tabela 3.16 - Análise das variáveis da DMU D

- DMU M – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,288, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 1.000% e diminuir as entradas em Estoque 71% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 71%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>M</b>	<b>0,288</b>			
Estoque-dias	42,5	12,231	-30,269	-71,22%
CustodePessoal-% Vendas	45,8	13,181	-32,619	-71,22%
Vendas-MilEURO	803	9455	8651,740	999,90%
VendasPFuncionário-MilEURO	24,3	24,300	0,000	0,00%

Tabela 3.17 - Análise das variáveis da DMU M

- DMU N – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,245, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 299% e diminuir as entradas em Estoque 94% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 76%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>N</b>	<b>0,245</b>			
Estoque-dias	81	4,780	-76,220	-94,10%
CustodePessoal-% Vendas	11,4	2,790	-8,610	-75,52%
Vendas-MilEURO	1056	4212	3156,274	298,83%
VendasPFuncionário-MilEURO	8	8,000	0,000	0,00%

Tabela 3.18 - Análise das variáveis da DMU N

- DMU B – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,238, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 220% e diminuir as entradas em Estoque 76% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 76%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>B</b>	<b>0,238</b>			
Estoque-dias	43,6	10,376	-33,224	-76,20%
CustodePessoal-% Vendas	55,5	13,208	-42,292	-76,20%
Vendas-MilEURO	2369	7578	5208,563	219,86%
VendasPFuncionário-MilEURO	21,9	21,900	0,000	0,00%

Tabela 3.19 - Análise das variáveis da DMU B

- DMU H – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,181, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 15% e diminuir as entradas em Estoque 82% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 85%. Sua melhor referência é a DMU E, diferentemente das outras DMU.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>H</b>	<b>0,181</b>			
Estoque-dias	34,1	6,168	-27,932	-81,91%
CustodePessoal-% Vendas	87,8	12,870	-74,930	-85,34%
Vendas-MilEURO	2972	3405	433,239	14,58%
VendasPFuncionário-MilEURO	16,2	16,200	0,000	0,00%

Tabela 3.20 - Análise das variáveis da DMU H

- DMU J – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,154, e para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas em 7% e diminuir as entradas em Estoque 85% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 85%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>J</b>	<b>0,154</b>			
Estoque-dias	35,1	5,395	-29,705	-84,63%
CustodePessoal-% Vendas	24,3	3,735	-20,565	-84,63%
Vendas-MilEURO	4337	4626	288,281	6,65%
VendasPFuncionário-MilEURO	9,4	9,400	0,000	0,00%

Tabela 3.21 - Análise das variáveis da DMU J



- DMU K – não se mostrou eficiente, com eficiência 0,145, sendo a de pior eficiência do grupo. Para atingir o ponto mais próximo da fronteira de eficiência deve aumentar as variáveis de saída Vendas por Funcionário em 7% e diminuir as entradas em Estoque 93% e relação Custo de Pessoal e Vendas em 86%. Sua melhor referência é a DMU A.

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>K</b>	<b>0,145</b>			
Estoque-dias	91	6,493	-84,507	-92,87%
CustodePessoal-% Vendas	26,1	3,790	-22,310	-85,48%
Vendas-MilEURO	5721	5721	0,000	0,00%
VendasporFuncionário-MilEURO	10,2	10,865	0,665	6,52%

Tabela 3.22 - Análise das variáveis da DMU K

O *Anexo A* mostra todas DMU, respectivas eficiências, valores atuais e projeções, em valor absoluto e em percentual de melhoria, representando a forma que será apresentada a eficiência das DMU conforme conjunto de variáveis escolhidas e modelos utilizados.

b) Segundo conjunto de variáveis, modelo CCR;

Foi utilizado o modelo CCR, conforme *Figura 2.6*, direcionado a recursos:

Como já mencionado, a análise de cada DMU demonstrada pelas *Tabelas 3.9 a 3.22* é válida para as variáveis escolhidas de saída, Vendas [Mil Euro] e relação Vendas por Funcionário [Mil Euro] e pelas entradas Estoque [dias] e Custo do Pessoal em relação a Vendas [%]. Da mesma forma, foi utilizado o modelo CCR orientado a entrada.

Observa-se, no entanto, que a variável Vendas aparece no modelo no denominador de uma entrada, Custo de Pessoal em relação a Vendas [%], e numerador de uma saída, Vendas por Funcionário [Mil Euro], além de ser por si uma saída. Com o objetivo de minimizar a influência de Vendas, a análise foi então refeita com a exclusão da variável Vendas dos citados denominador e numerador. Portanto, as quatro variáveis serão avaliadas como:

- Vendas [Mil Euro] – Saída;
- Funcionário [quantidade] – Entrada;
- Estoque [dias] – Entrada;
- Custo de Pessoal [Mil Euro] – Entrada;

Na **Tabela 3.23** há a classificação das DMU quanto a eficiência, bem com ao melhor referência para cada uma delas.

Pode-se observar que embora as DMU A e L sejam eficientes também com este grupo de variáveis, as DMU N e I se mostraram eficientes desta feita, ao invés da DMU E. Observa-se também que a DMU A continua sendo a melhor referência para a maioria das outras DMU, excetuando-se desta vez a DMU F, que tem a DMU I como referencia.

No entanto, mesmo nesta seleção de variáveis a DMU E mostra-se com eficiência elevada. O mesmo ocorre com a DMU F.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	N	1	N
1	A	1	A
1	L	1	L
1	I	1	I
5	F	0,997	I
6	E	0,969	A
7	D	0,710	A
8	C	0,658	A
9	G	0,626	A
10	J	0,583	A
11	K	0,537	A
12	M	0,531	A
13	B	0,521	A
14	H	0,393	A

Tabela 3.23 - Classificação de eficiência de **DMU**, com modelo CCR orientado a entrada, variáveis Vendas, Funcionários, Estoque [dias] e Custo do Pessoal

Na análise das variáveis de cada DMU para um modelo voltado a entrada, é enfatizada a melhora necessária nas entradas para que se atinja o ponto mais próximo da fronteira eficiente, assumindo que a variável de saída Vendas [Mil Euro] será mantida como constante (**Tabela 3.24**).

- Nota-se que na quase eficiente DMU F, com 0,997, a variável que precisa ser trabalhada é o Estoque [dias] que deve ser reduzido em 48% para atingir a fronteira de eficiência;
- Já na também quase eficiente DMU E, com 0,969, a variável que requer maior atenção é o Custo do Pessoal, que deve ser reduzido em 54%. Este objetivo

isoladamente pode ser classificado como inatingível. Assim, outras variáveis devem ser tratadas para que a combinação entre elas busque outro ponto da fronteira eficiente;

- A DMU D, com 0,710, apresenta como desafio a redução do Custo do Pessoal em 66%, e além disso, a redução dos níveis de Estoque e quantidade de Funcionários em 29% para atingir a fronteira de eficiência.

DMU / Variável	Eficiência Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,5	24,50	0,00	0,00%
Funcionarios-Qtde	532	532,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	3087	3087,23	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	21589	21589,00	0,00	0,00%
<b>B</b>	<b>0,521</b>			
Estoque-dias	43,6	22,73	-20,87	-47,87%
Funcionarios-Qtde	107	55,78	-51,22	-47,87%
CustodePessoal-MilEURO	1315	398,28	-916,52	-69,71%
Vendas-MilEURO	2369	2369,00	0,00	0,00%
<b>C</b>	<b>0,658</b>			
Estoque-dias	33,1	21,78	-11,32	-34,20%
Funcionarios-Qtde	203	133,57	-69,43	-34,20%
CustodePessoal-MilEURO	2146	832,92	-1312,86	-61,18%
Vendas-MilEURO	5502	5502,00	0,00	0,00%
<b>D</b>	<b>0,710</b>			
Estoque-dias	42,4	30,09	-12,31	-29,04%
Funcionarios-Qtde	219	155,40	-63,60	-29,04%
CustodePessoal-MilEURO	2956	986,59	-1969,34	-66,62%
Vendas-MilEURO	6426	6425,93	0,00	0,00%
<b>E</b>	<b>0,969</b>			
Estoque-dias	15	14,53	-0,47	-3,13%
Funcionarios-Qtde	210	203,42	-6,58	-3,13%
CustodePessoal-MilEURO	2592	1199,56	-1392,70	-53,73%
Vendas-MilEURO	8282	8281,98	0,00	0,00%
<b>F</b>	<b>0,997</b>			
Estoque-dias	44,4	31,56	-12,84	-28,91%
Funcionarios-Qtde	30	29,90	-0,10	-0,35%
CustodePessoal-MilEURO	302	285,12	-16,45	-5,45%
Vendas-MilEURO	1371	1370,75	0,00	0,00%
<b>G</b>	<b>0,626</b>			
Estoque-dias	24,2	15,14	-9,06	-37,45%
Funcionarios-Qtde	118	73,81	-44,19	-37,45%
CustodePessoal-MilEURO	1268	471,73	-796,72	-62,81%
Vendas-MilEURO	3057	3056,50	0,00	0,00%
<b>H</b>	<b>0,393</b>			
Estoque-dias	34,1	13,41	-20,69	-60,69%
Funcionarios-Qtde	183	71,94	-111,06	-60,69%
CustodePessoal-MilEURO	2609	454,79	-2154,66	-82,57%
Vendas-MilEURO	2972	2972,04	0,00	0,00%
<b>I</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	64,4	64,40	0,00	0,00%
Funcionarios-Qtde	61	61,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	582	581,75	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	2797	2796,89	0,00	0,00%
<b>J</b>	<b>0,583</b>			
Estoque-dias	35,1	20,46	-14,64	-41,72%
Funcionarios-Qtde	461	127,51	-333,49	-72,34%
CustodePessoal-MilEURO	1054	614,28	-439,70	-41,72%
Vendas-MilEURO	4337	4337,36	0,00	0,00%
<b>K</b>	<b>0,537</b>			
Estoque-dias	91	48,87	-42,13	-46,30%
Funcionarios-Qtde	563	197,25	-365,75	-64,96%
CustodePessoal-MilEURO	1493	801,86	-691,36	-46,30%
Vendas-MilEURO	5721	5721,17	0,00	0,00%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	23	23,00	0,00	0,00%
Funcionarios-Qtde	2615	2615,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	9488	9487,57	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	34753	34753,00	0,00	0,00%
<b>M</b>	<b>0,531</b>			
Estoque-dias	42,5	18,50	-24,00	-56,48%
Funcionarios-Qtde	33	17,52	-15,48	-46,91%
CustodePessoal-MilEURO	368	167,09	-200,83	-54,59%
Vendas-MilEURO	803	803,32	0,00	0,00%
<b>N</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	81	81,00	0,00	0,00%
Funcionarios-Qtde	132	132,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	120	120,41	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	1056	1056,21	0,00	0,00%

Tabela 3.24 - Análise das variáveis de cada DMU – CCR 2

- A DMU C, com 0,658 nesta combinação de variáveis, precisa reduzir o Custo de Pessoal em 61% bem com o nível de Estoque e quantidade de Funcionários em 34%.
- Para a DMU G, com 0,626, análise demanda uma redução dos níveis de Custo do Pessoal em 63% bem como a quantidade de Funcionários e Estoque em 38%.
- A DMU J, com 0,583, apresenta desafios na redução de quantidade de Funcionários em 72%, bem como dos níveis de Estoque e quantidade de Funcionários em 42%;
- A DMU K, com 0,537, precisa reduzir a quantidade de Funcionários em 65% bem como os níveis de Estoque e Custo do Pessoal em 46%;
- DMU M, com 0,531, precisa reduzir a quantidade de Funcionários em 47% bem como os níveis de Estoque em 56% e Custo do Pessoal em 55%;
- Para a DMU B, que apresenta aqui eficiência de 0,521, o Custo de Pessoal tem que ser reduzido em 70% bem como níveis de Estoque e quantidade de Funcionários em 48%;
- A DMU H, com 0,393, apresenta o pior nível de eficiência para o grupo de variáveis de análise. Desta forma, tem como desafio a redução do Custo de Pessoal em 83%, bem como níveis de Estoque e quantidade de Funcionários em 61%.

Tece-se então a análise comparativa dos resultados obtidos com os dois conjuntos de variáveis:

- Vendas [Mil Euro], Vendas por Funcionário [Mil Euro], Estoque [dias] e Custo do Pessoal/Vendas [%];
- Vendas [Mil Euro], Funcionários [quantidade], Estoque [dias] e Custo do Pessoal [Mil Euro];

As DMU A e L se mostraram eficientes em ambas as análises e a DMU A se mostrou a melhor referência para maioria das outras DMU também em ambas as análises.

A DMU E se mostrou eficiente na primeira análise e na segunda evidenciou-se necessidade de significativa melhora do Custo de Pessoal [Mil Euro] em 54%.

A DMU N se mostrou eficiente na segunda análise, embora na primeira mostrou uma necessidade de melhora na saída Vendas [Mil Euro] em 299% e nas entradas Estoque [dias] em 94% e Custo de Pessoal em relação a Vendas [%] em 76%, obtendo eficiência baixa, de 0,245. O fato mostra a relevância da escolha de variáveis na análise;

A DMU I se mostrou eficiente na segunda análise e apresentou uma eficiência menor, de 0,770 na primeira, quando foi evidenciada uma necessidade de melhora do indicador Vendas [Mil Euro] em 764%, atingindo aproximadamente 21.400.000 Euro, e uma redução nos níveis de Estoque [dias] em 57% e Custo do Pessoal em relação a Vendas em 23%.

Vale ressaltar que a DMU F apresentou-se próximo da fronteira eficiente na segunda análise, com eficiência de 0,997, precisando melhorar níveis de Estoque [dias] em 28% e pequena melhora no Custo de Pessoal [Mil Euro] em 6% para atingi-la. No entanto, na esta constatação contrasta com a efetuada na primeira análise, onde a mesma mostrou necessidade de sensível melhora da saída Vendas [Mil Euro] em 1.000%, objetivo pouco provável de ser atingido.

Todas as outras DMU apresentaram eficiência reduzida por motivos já apresentados.

Torna-se evidente que, embora seja um orientador para tomada de decisão, gestores não podem e não devem se basear apenas nestas conclusões para fazê-lo. Em face da limitação de quantidade de variáveis pela DEA, as avaliações alternando variáveis serão continuadas.

c) Terceiro conjunto de variáveis, modelo CCR.

Para explorar ao máximo a presença da variável Vendas [Mil Euro] no conjunto de análise, mantendo o modelo CCR, orientado a entradas, o Pesquisador fará agora a análise de novas variáveis:

- Vendas [Mil Euro] – Saída;
- Estoque [Mil Euro] – Entrada;
- Capital Empregado [Dias] – Entrada;
- Custo do Pessoal [Mil Euro] – Entrada;

Vale lembrar que as variáveis Capital Empregado [Dias] e Custo do Pessoal [Mil Euro], assim como Vendas [Mil Euro] não fazem parte do conjunto de indicadores utilizado pela empresa alvo da análise para cálculo da já citada Eficiência BSC, como apresentado na **Figura 3.2**.

Desta forma, temos a classificação de eficiências demonstrada na **Tabela 3.25**.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	N	1	N
1	A	1	A
1	E	1	E
1	C	1	C
5	L	0,926	A
6	G	0,791	A
7	H	0,773	C
8	I	0,687	A
9	F	0,649	A
10	J	0,585	A
11	K	0,547	A
12	B	0,517	A
13	D	0,484	A
14	M	0,467	A

Tabela 3.25 - Classificação de eficiência de DMU, com modelo BCC orientado a entrada, variáveis Vendas, Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [dias] e Custo do Pessoal

Observa-se que quando foi acrescentada a variável Capital Empregado no conjunto de variáveis o novo grupo de DMU eficientes passou a ser N, A, E, C. Na **Tabela 3.26** pode ser visto o que deve ser feito para tornar a DMU eficiente, neste conjunto de variáveis.

DMU / Variável	Eficiência Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	6558	6558,00	0,00	0,00%
CapitalEmpregado-Dias	29,4	29,40	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	3087	3087,23	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	21589	21589,00	0,00	0,00%
<b>B</b>	<b>0,517</b>			
Estoque-MilEURO	1648	852,60	-795,40	-48,26%
CapitalEmpregado-Dias	5,2	2,69	-2,51	-48,26%
CustodePessoal-MilEURO	1315	680,22	-634,58	-48,26%
Vendas-MilEURO	2369	2369,00	0,00	0,00%
<b>C</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	2854	2854,00	0,00	0,00%
CapitalEmpregado-Dias	4,8	4,80	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	2146	2145,78	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	5502	5502,00	0,00	0,00%
<b>D</b>	<b>0,484</b>			
Estoque-MilEURO	3277	1587,65	-1689,70	-51,56%
CapitalEmpregado-Dias	17,4	8,43	-8,97	-51,56%
CustodePessoal-MilEURO	2956	1431,95	-1523,98	-51,56%
Vendas-MilEURO	6426	6425,93	0,00	0,00%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	1277	1277,29	0,00	0,00%
CapitalEmpregado-Dias	10,6	10,60	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	2592	2592,26	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	8282	8281,98	0,00	0,00%
<b>F</b>	<b>0,649</b>			
Estoque-MilEURO	917	422,20	-495,10	-53,97%
CapitalEmpregado-Dias	3,7	2,40	-1,30	-35,06%
CustodePessoal-MilEURO	302	195,83	-105,74	-35,06%
Vendas-MilEURO	1371	1370,75	0,00	0,00%
<b>G</b>	<b>0,791</b>			
Estoque-MilEURO	919	726,28	-192,40	-20,94%
CapitalEmpregado-Dias	4,6	3,64	-0,96	-20,94%
CustodePessoal-MilEURO	1268	1002,79	-265,66	-20,94%
Vendas-MilEURO	3057	3056,50	0,00	0,00%
<b>H</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	1683	1301,50	-381,48	-22,67%
CapitalEmpregado-Dias	3,7	2,86	-0,84	-22,67%
CustodePessoal-MilEURO	2609	1108,36	-1501,09	-57,53%
Vendas-MilEURO	2972	2972,04	0,00	0,00%
<b>I</b>	<b>0,687</b>			
Estoque-MilEURO	2073	850,04	-1223,39	-59,00%
CapitalEmpregado-Dias	5,6	3,85	-1,75	-31,25%
CustodePessoal-MilEURO	582	399,94	-181,81	-31,25%
Vendas-MilEURO	2797	2796,89	0,00	0,00%
<b>J</b>	<b>0,585</b>			
Estoque-MilEURO	2594	1425,37	-1168,98	-45,06%
CapitalEmpregado-Dias	27,1	15,86	-11,24	-41,49%
CustodePessoal-MilEURO	1054	616,73	-437,25	-41,49%
Vendas-MilEURO	4337	4337,36	0,00	0,00%
<b>K</b>	<b>0,547</b>			
Estoque-MilEURO	6104	1767,92	-4336,09	-71,04%
CapitalEmpregado-Dias	19,3	10,56	-8,74	-45,28%
CustodePessoal-MilEURO	1493	817,15	-676,08	-45,28%
Vendas-MilEURO	5721	5721,17	0,00	0,00%
<b>L</b>	<b>0,926</b>			
Estoque-MilEURO	7771	7198,00	-573,00	-7,37%
CapitalEmpregado-Dias	54,4	45,49	-8,91	-16,38%
CustodePessoal-MilEURO	9488	8787,99	-699,58	-7,37%
Vendas-MilEURO	34753	34753,00	0,00	0,00%
<b>M</b>	<b>0,467</b>			
Estoque-MilEURO	932	293,63	-638,37	-68,49%
CapitalEmpregado-Dias	2,1	0,98	-1,12	-53,28%
CustodePessoal-MilEURO	368	171,88	-196,04	-53,28%
Vendas-MilEURO	803	803,32	0,00	0,00%
<b>N</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	1261	1261,00	0,00	0,00%
CapitalEmpregado-Dias	88,2	88,20	0,00	0,00%
CustodePessoal-MilEURO	120	120,41	0,00	0,00%
Vendas-MilEURO	1056	1056,21	0,00	0,00%

Tabela 3.26 - Análise das variáveis de cada DMU – CCR 3



- Nota-se que a DMU L deixou o grupo de DMU eficientes quando se acrescenta o Capital Empregado neste grupo de indicadores, apresentando valor de 0,926, fazendo-se necessário reduzir as entradas Capital Empregado [dias] em 16%, Estoque [Mil Euro] e Custo de Pessoal, ambas em 7%, tendo A como sua melhor referência.

Na sequência, pode ser observada também a eficiência de cada DMU na **Tabela 3.26**, bem como o que deve ser melhorado em cada recurso de cada uma delas, assim como a intensidade da melhora.

No entanto, os resultados obtidos com o conjunto de indicadores avaliados nos itens: e) Vendas [Mil Euro], Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [dias] e Custo do Pessoal [Mil Euro], bem como os avaliados no item c) Vendas [Mil Euro], Vendas por Funcionário [Mil Euro], Estoque [dias] e Custo do Pessoal em relação a Vendas [%] e item d) Vendas [Mil Euro], Funcionários [quantidade], Estoque [dias] e Custo do Pessoal [Mil Euro] pode direcionar o gestor a decisões não coerentes com o observado no quadro de indicadores completos descrito na **Tabela 3.1**. Observa-se no mesmo que as DMU B, C, D, G, H, J, M e N apresentam Resultado Operacional [Mil Euro] com valores negativos.

Face ao exposto o Pesquisador fará as próximas análises considerando Resultado Operacional no conjunto de variáveis. Porém, como o mesmo mostrou forte correlação com a variável Vendas, atingindo 0,96, como pode ser notado na **Tabela 3.6**, e ambos são variáveis de saída, Resultado Operacional substituirá Vendas nas próximas análises.

d) Quarto conjunto de variáveis, modelo BCC;

Foi utilizado neste conjunto de variáveis o modelo BCC, conforme **Figura 2.7**, voltado a entrada:

- Resultado Operacional [Mil Euro] – Saída;
- Vendas por Funcionário [Mil Euro] – Saída;
- Estoque [dias] – Entrada;
- Custo de Pessoal [% Vendas] – Entrada.

Justifica-se o uso do modelo BCC, pois como há resultados negativos da variável Resultado Operacional estes dados foram tratados. Desta forma, a utilização do modelo CCR não é mais aplicável, tendo o Pesquisador optado pelo modelo BCC orientado a entrada, pois

a variável cujos dados foram tratados antes de processar o modelo, é uma saída. Foi utilizado, da mesma forma, o programa DEA Solver, de Cooper et. al (2006).

Na **Tabela 3.27** observa-se que temos agora seis DMU consideradas eficientes: DMU A, L, que retorna ao grupo de eficientes, e as DMU N, I, F e E.

É esperado que haja um aumento de DMU eficientes quando se aplica o modelo BCC, pois o mesmo permite o retorno variável de escala, portanto assume que a fronteira eficiente passa por mais pontos que representam as unidades de manufatura, como já foi observado na sequência de **Figuras 3.3 e 3.4**.

Este fato muda também a posição de cada DMU em relação a fronteira de eficiência. Assim, DMU A divide agora o posto de melhor referência para a maioria das DMU ineficientes com a F.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	N	1	N
1	A	1	A
1	L	1	L
1	I	1	I
1	F	1	F
1	E	1	E
7	G	0,686	A
8	J	0,667	A
9	C	0,592	A
10	K	0,506	A
11	M	0,477	A
12	D	0,477	A
13	H	0,440	E
14	B	0,435	A

Tabela 3.27 - Classificação de eficiência de **DMU**, modelo BCC orientado a entrada, Resultado Operacional, Vendas por Funcionário, Estoque [dias] e Custo do Pessoal

No entanto, novamente a DMU N aparece no grupo de eficientes, mesmo tendo a variável de saída Resultado Operacional [Mil Euro] com valor negativo, antes do tratamento. O fato pode ser devido ao reduzido valor das variáveis relacionadas a Custo do Pessoal. Assim mesmo, esta constatação será novamente avaliada, com todas as análises concluídas.

Na **tabela 3.28** podemos observar as DMU ineficientes bem como a variável que precisa ser melhorada em cada uma delas.

DMU / Variável	Eficiência Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,5	24,50	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	14,3	14,30	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	4058	4058	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	41	41,00	0,00	0,00%
<b>B</b>	<b>0,435</b>			
Estoque-dias	43,6	18,99	-24,61	-56,46%
CustodePessoal-% Vendas	55,5	24,17	-31,33	-56,46%
ResultadoOperacional-MilEURO	298	2362	2063,81	692,04%
VendasFuncionário-MilEURO	21,9	40,07	18,17	82,97%
<b>C</b>	<b>0,592</b>			
Estoque-dias	33,1	19,59	-13,51	-40,81%
CustodePessoal-% Vendas	39	23,08	-15,92	-40,81%
ResultadoOperacional-MilEURO	158	2548	2390,14	999,90%
VendasFuncionário-MilEURO	26,5	40,17	13,67	51,60%
<b>D</b>	<b>0,477</b>			
Estoque-dias	42,4	20,23	-22,17	-52,29%
CustodePessoal-% Vendas	46	21,94	-24,06	-52,29%
ResultadoOperacional-MilEURO	0	2744	2744,06	999,90%
VendasFuncionário-MilEURO	29,3	40,28	10,98	37,47%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	15	15,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	31,3	31,30	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	1136	1136	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	39,4	39,40	0,00	0,00%
<b>F</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	44,4	44,40	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	22	22,00	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	759	759	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	45,7	45,70	0,00	0,00%
<b>G</b>	<b>0,686</b>			
Estoque-dias	24,2	16,59	-7,61	-31,44%
CustodePessoal-% Vendas	41,5	28,45	-13,05	-31,44%
ResultadoOperacional-MilEURO	630	1626	995,57	158,03%
VendasFuncionário-MilEURO	25,9	39,67	13,77	53,16%
<b>H</b>	<b>0,440</b>			
Estoque-dias	34,1	15,00	-19,10	-56,01%
CustodePessoal-% Vendas	87,8	31,30	-56,50	-64,35%
ResultadoOperacional-MilEURO	730	1136	405,83	55,58%
VendasFuncionário-MilEURO	16,2	39,40	23,20	143,21%
<b>I</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	64,4	64,40	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	20,8	20,80	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	818	818	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	45,9	45,90	0,00	0,00%
<b>J</b>	<b>0,667</b>			
Estoque-dias	35,1	23,43	-11,67	-33,26%
CustodePessoal-% Vendas	24,3	16,22	-8,08	-33,26%
ResultadoOperacional-MilEURO	601	3728	3127,50	520,55%
VendasFuncionário-MilEURO	9,4	40,82	31,42	334,24%
<b>K</b>	<b>0,506</b>			
Estoque-dias	91	46,01	-44,99	-49,44%
CustodePessoal-% Vendas	26,1	13,20	-12,90	-49,44%
ResultadoOperacional-MilEURO	1445	2778	1333,05	92,26%
VendasFuncionário-MilEURO	10,2	28,44	18,24	178,79%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	23	23,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	27,3	27,30	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	6580	6580	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	13,8	13,80	0,00	0,00%
<b>M</b>	<b>0,477</b>			
Estoque-dias	42,5	20,28	-22,22	-52,29%
CustodePessoal-% Vendas	45,8	21,85	-23,95	-52,29%
ResultadoOperacional-MilEURO	716	2760	2043,62	285,35%
VendasFuncionário-MilEURO	24	40,29	15,99	65,80%
<b>N</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	81	81,00	0,00	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	11,4	11,40	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	695	695	0,00	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	8	8,00	0,00	0,00%

Tabela 3.28 - Análise das variáveis de cada DMU – BCC 1

e) Quinto conjunto de variáveis, modelo BCC.

Nesta avaliação foi seguido o mesmo conceito utilizado no item “d) segunda análise”, substituindo a variável Vendas pelo Resultado Operacional. Assim fazendo, deve ser aplicado o modelo BCC.

- Resultado Operacional [Mil Euro] – Saída;
- Funcionário [quantidade] – Entrada;
- Estoque [dias] – Entrada;
- Custo de Pessoal [Mil Euro] – Entrada.

A classificação de eficiências bem como a melhor referência para cada DMU pode ser observada na **Tabela 3.29**.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	N	1	N
1	A	1	A
1	M	1	M
1	L	1	L
1	G	1	G
1	E	1	E
1	F	1	F
8	J	0,884	G
9	B	0,744	G
10	H	0,702	E
11	C	0,688	E
12	I	0,676	A
13	K	0,564	A
14	D	0,560	E

Tabela 3.29 - Classificação de eficiência de **DMU**, modelo BCC para a entrada, Resultado Operacional, Funcionários [qtde], Estoque [dias] e Custo do Pessoal [Euro]

Na **Tabela 3.29** temos sete DMU consideradas eficientes para o conjunto de variáveis avaliadas pelo modelo BCC utilizado. O fato de termos um número elevado de DMU consideradas eficientes, atingindo 50% do total avaliado, faz com que a discriminação entre as mesmas seja comprometida.

Podemos observar que as DMU N, A, M, L, G, E, F foram consideradas eficientes e as DMU J, B, H, C, I, K, D ineficientes. Na **Tabela 3.30** podemos avaliar o que deve ser melhorado em cada variável de cada DMU ineficiente.

DMU / Variável	Eficiencia Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,5	24,50	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	532	532,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	3087	3087	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	4058	4058	0,00	0,00%
<b>B</b>	<b>0,744</b>			
Estoque-dias	43,6	32,46	-11,14	-25,56%
Funcionários-Qtde	107	79,65	-27,35	-25,56%
CustoPessoal-MiIEURO	1315	862	-452,63	-34,43%
ResultadoOperacional-MiIEURO	298	669	370,65	124,29%
<b>C</b>	<b>0,688</b>			
Estoque-dias	33,1	22,76	-10,34	-31,24%
Funcionários-Qtde	203	132,39	-70,61	-34,78%
CustoPessoal-MiIEURO	2146	1476	-670,27	-31,24%
ResultadoOperacional-MiIEURO	158	709	550,93	348,20%
<b>D</b>	<b>0,560</b>			
Estoque-dias	42,4	23,74	-18,66	-44,01%
Funcionários-Qtde	219	122,61	-96,39	-44,01%
CustoPessoal-MiIEURO	2956	1335	-1621,12	-54,84%
ResultadoOperacional-MiIEURO	0	655	655,36	999,90%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	15	15,00	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	210	210,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	2592	2592	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	1136	1136	0,00	0,00%
<b>F</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	44,4	44,40	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	30	30,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	302	302	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	759	759	0,00	0,00%
<b>G</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,2	24,20	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	118	118,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	1268	1268	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	630	630	0,00	0,00%
<b>H</b>	<b>0,702</b>			
Estoque-dias	34,1	23,92	-10,18	-29,84%
Funcionários-Qtde	183	128,39	-54,61	-29,84%
CustoPessoal-MiIEURO	2609	1443	-1166,44	-44,70%
ResultadoOperacional-MiIEURO	730	730	0,00	0,00%
<b>I</b>	<b>0,676</b>			
Estoque-dias	64,4	43,53	-20,87	-32,41%
Funcionários-Qtde	61	41,23	-19,77	-32,41%
CustoPessoal-MiIEURO	582	376	-205,95	-35,40%
ResultadoOperacional-MiIEURO	818	818	0,00	0,00%
<b>J</b>	<b>0,884</b>			
Estoque-dias	35,1	31,04	-4,06	-11,58%
Funcionários-Qtde	461	86,24	-374,76	-81,29%
CustoPessoal-MiIEURO	1053,979508	931,98	-122,00	-11,58%
ResultadoOperacional-MiIEURO	600,806135	662,19	61,38	10,22%
<b>K</b>	<b>0,564</b>			
Estoque-dias	91	51,31	-39,69	-43,62%
Funcionários-Qtde	563	168,45	-394,55	-70,08%
CustoPessoal-MiIEURO	1493	842	-651,29	-43,62%
ResultadoOperacional-MiIEURO	1445	1445	0,00	0,00%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	23	23,00	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	2615	2615,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	9488	9488	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	6580	6580	0,00	0,00%
<b>M</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	42,5	42,50	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	33	33,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	368	368	-0,01	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	716	716	0,00	0,00%
<b>N</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	81	81,00	0,00	0,00%
Funcionários-Qtde	132	132,00	0,00	0,00%
CustoPessoal-MiIEURO	120	120	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MiIEURO	695	695	0,00	0,00%

Tabela 3.30 - Análise das variáveis de cada DMU – BCC 2

f) Sexto conjunto de variáveis, modelo BCC;

De maneira análoga ao executado na terceira análise, visando explorar ao máximo a presença da variável Resultado Operacional [Mil Euro] no conjunto de análise mantendo o modelo BCC, será efetuada a análise das seguintes variáveis:

- Resultado Operacional [Mil Euro] – Saída;
- Estoque [Mil Euro] – Entrada;
- Capital Empregado [Dias] – Entrada;
- Custo do Pessoal [Mil Euro] – Entrada.

Os resultados obtidos em termos de eficiência de cada DMU, bem como a classificação destas eficiências e a melhor referência para cada uma delas podem ser observados na **tabela 3.31**.

Rank	DMU	Score	Best Ref
1	N	1	N
1	A	1	A
1	M	1	M
1	L	1	L
1	F	1	F
1	E	1	E
7	G	0,998	F
8	I	0,664	A
9	H	0,599	A
10	K	0,588	A
11	B	0,561	F
12	C	0,437	M
13	J	0,354	F
14	D	0,280	F

Tabela 3.31 - Classificação de eficiência de **DMU**, modelo BCC à entrada, Resultado Operacional, Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [dias] e Custo do Pessoal

Nota-se na **Tabela 3.31** que cinco DMU foram consideradas eficientes, N, A, M, L, F e E, o que novamente prejudica o poder discriminatório da análise. As DMU consideradas ineficientes G, I, H, K, B, C, J e D podem ser mais bem avaliadas na **Tabela 3.32**, bem como suas respectivas variáveis e o que deve ser melhorado em cada uma delas, neste caso.

DMU / Variável	Eficiência Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	6558	6558	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	29,4	29,40	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	3087	3087	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	4058	4058	0,00	0,00%
<b>B</b>	<b>0,561</b>			
Estoque-MilEURO	1648	924	-723,52	-43,90%
CapitalEmp-Dias	5,2	2,92	-2,28	-43,90%
CustoPessoal-MilEURO	1315	334	-980,76	-74,59%
ResultadoOperacional-MilEURO	298	738	439,70	147,44%
<b>C</b>	<b>0,437</b>			
Estoque-MilEURO	2854	932	-1922,01	-67,34%
CapitalEmp-Dias	4,8	2,10	-2,70	-56,25%
CustoPessoal-MilEURO	2146	368	-1777,86	-82,85%
ResultadoOperacional-MilEURO	158	716	557,96	352,64%
<b>D</b>	<b>0,280</b>			
Estoque-MilEURO	3277	917	-2360,06	-72,01%
CapitalEmp-Dias	17,4	3,70	-13,70	-78,74%
CustoPessoal-MilEURO	2956	302	-2654,36	-89,80%
ResultadoOperacional-MilEURO	0	759	758,75	999,90%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	1277	1277	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	10,6	10,60	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	2592	2592	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	1136	1136	0,00	0,00%
<b>F</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	917	917	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	3,7	3,70	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	302	302	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	759	759	0,00	0,00%
<b>G</b>	<b>0,998</b>			
Estoque-MilEURO	919	917	-1,39	-0,15%
CapitalEmp-Dias	4,6	3,70	-0,90	-19,57%
CustoPessoal-MilEURO	1268	302	-966,89	-76,23%
ResultadoOperacional-MilEURO	630	759	128,76	20,44%
<b>H</b>	<b>0,599</b>			
Estoque-MilEURO	1683	956	-727,35	-43,22%
CapitalEmp-Dias	3,7	2,21	-1,49	-40,14%
CustoPessoal-MilEURO	2609	379	-2230,11	-85,46%
ResultadoOperacional-MilEURO	730	730	0,00	0,00%
<b>I</b>	<b>0,664</b>			
Estoque-MilEURO	2073	1048	-1025,36	-49,45%
CapitalEmp-Dias	5,6	3,72	-1,88	-33,56%
CustoPessoal-MilEURO	582	387	-195,22	-33,56%
ResultadoOperacional-MilEURO	818	818	0,00	0,00%
<b>J</b>	<b>0,354</b>			
Estoque-MilEURO	2594	917	-1677,07	-64,64%
CapitalEmp-Dias	27,1	3,70	-23,40	-86,35%
CustoPessoal-MilEURO	1054	302	-752,42	-71,39%
ResultadoOperacional-MilEURO	601	759	157,95	26,29%
<b>K</b>	<b>0,588</b>			
Estoque-MilEURO	6104	2102	-4001,59	-65,56%
CapitalEmp-Dias	19,3	11,34	-7,96	-41,24%
CustoPessoal-MilEURO	1493	877	-615,87	-41,24%
ResultadoOperacional-MilEURO	1445	1445	0,00	0,00%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	7771	7771	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	54,4	54,40	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	9488	9488	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	6580	6580	0,00	0,00%
<b>M</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	932	932	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	2,1	2,10	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	368	368	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	716	716	0,00	0,00%
<b>N</b>	<b>1</b>			
Estoque-MilEURO	1261	1261	0,00	0,00%
CapitalEmp-Dias	88,2	88,20	0,00	0,00%
CustoPessoal-MilEURO	120	120	0,00	0,00%
ResultadoOperacional-MilEURO	695	695	0,00	0,00%

Tabela 3.32 - Análise das variáveis de cada DMU – BCC 3

### 3.6 Consolidação e análise dos resultados;

A partir da seleção de variáveis efetuada com o auxílio da Correlação Linear, foram avaliados seis conjuntos de variáveis diferentes entre si, utilizando dois modelos, CCR e BCC, ambos orientados a recursos.

Os resultados em termos de eficiência de cada DMU de manufatura, classificação de eficiência das mesmas e a DMU referência para cada uma delas apresentaram-se distintos entre as análises de cada conjunto de variáveis.

Por consequência, diferentes DMU foram consideradas ineficientes em cada análise efetuada. Estas apresentaram necessidades de melhora em cada variável também diferentes em cada análise.

A importância da seleção de variáveis torna-se evidente tanto para estruturação das análises como nas eficiências resultantes de cada conjunto de variáveis. O fato observado faz com que a interpretação dos resultados obtidos na Análise Envoltória de Dados também dependa consideravelmente do conhecimento prévio e experiência do Pesquisador na empresa objeto de estudo.

Além disso, em função desta constatação, outros envolvidos e interessados na avaliação da eficiência das DMU no objeto de estudo com pontos de vista diferentes, até alimentados por aspectos culturais presentes no objeto de estudo, podem também influenciar a análise.

Assim, para os conjuntos de variáveis escolhidos e modelos utilizados foram geradas as **Tabelas 3.33 e 3.34** visando comparar eficiências de cada DMU, classificação destas DMU em termos de eficiência e melhor referência para cada DMU.

Esta análise será ainda combinada com a avaliação frequência da presença de DMU no grupo das ineficientes, com o objetivo de gerar sugestões de ações estratégicas para melhoria das mesmas e, por consequência, do próprio grupo de DMU em questão.

O conceito utilizado para a análise da frequência de participação das DMU nos grupos de eficientes, ineficientes bem como o conjunto de variáveis avaliadas foi baseado no seguinte código de cores:

**Azul** – DMU eficiente, com eficiência igual a 1, portanto na fronteira de eficiência;

**Amarelo** – cinco piores DMU ineficientes no conjunto de variáveis;

Branco – DMU ineficientes, porém com eficiência intermediária;

**Verde** – variável fez parte do conjunto de análise;



- Consolidação dos resultados obtidos com o modelo CCR orientado a entrada;

Conjunto	Planta	Eficiência	Classificação	Referência	Variáveis utilizadas - Modelo CCR, orientado a entrada								
					S - Vendas [Mil Euro]	S - Res. Operacional [Mil Euro]	S - Venda / Funcionário [Mil Euro]	E - Estoque [Mil Euro]	E - Estoque [Dias]	E - Custo Pessoal [% Venda]	E - Capital Empregado Mil Euro	E - Funcionários [Qtde]	E - Capital Empregado [Dias]
1º	A	1,000	1	A									
	B	0,238	11	A									
	C	0,390	7	A									
	D	0,347	8	A									
	E	1,000	1	E									
	F	0,725	5	A									
	G	0,448	6	A									
	H	0,181	12	E									
	I	0,770	4	A									
	J	0,154	13	A									
	K	0,145	14	A									
	L	1,000	1	L									
	M	0,288	9	A									
N	0,245	10	A										
2º	A	1,000	1	A									
	B	0,521	13	A									
	C	0,658	8	A									
	D	0,710	7	A									
	E	0,969	6	A									
	F	0,997	5	I									
	G	0,626	9	A									
	H	0,393	14	A									
	I	1,000	1	I									
	J	0,583	10	A									
	K	0,537	11	A									
	L	1,000	1	L									
	M	0,531	12	I									
	N	1,000	1	N									
3º	A	1,000	1	A									
	B	0,517	12	A									
	C	1,000	1	C									
	D	0,484	13	A									
	E	1,000	1	E									
	F	0,649	9	A									
	G	0,791	6	A									
	H	0,773	7	C									
	I	0,687	8	A									
	J	0,585	10	A									
	K	0,547	11	A									
	L	0,926	5	A									
	M	0,467	14	A									
	N	1,000	1	N									

Tabela 3.33 - Consolidação de resultados gerados com modelo CCR orientado a entrada

Em uma primeira análise, ressalta-se que quatro variáveis foram contempladas em cada conjunto escolhido sendo que a saída Resultado Operacional [Mil Euro] não fez parte da análise no modelo CCR orientado a entrada. Vale lembrar que este fato se deve à variável possuir resultados negativos que, mesmo tratados, não podem ser processados pelo modelo CCR.

Observa-se ainda que tivemos entre três e quatro DMU posicionadas na fronteira de eficiência, ou seja, com eficiência igual a 1, em cada conjunto de variáveis avaliadas, sendo que a DMU A esteve presente em todas as análises como DMU eficiente.

A DMU A é a de maior frequência enquanto referência para outras, em todos os conjuntos de variáveis analisados com modelo CCR orientado à entrada.

Torna-se assim necessária uma análise mais detalhada destes dados.

- Frequência nos níveis de eficiência de cada DMU – modelo CCR

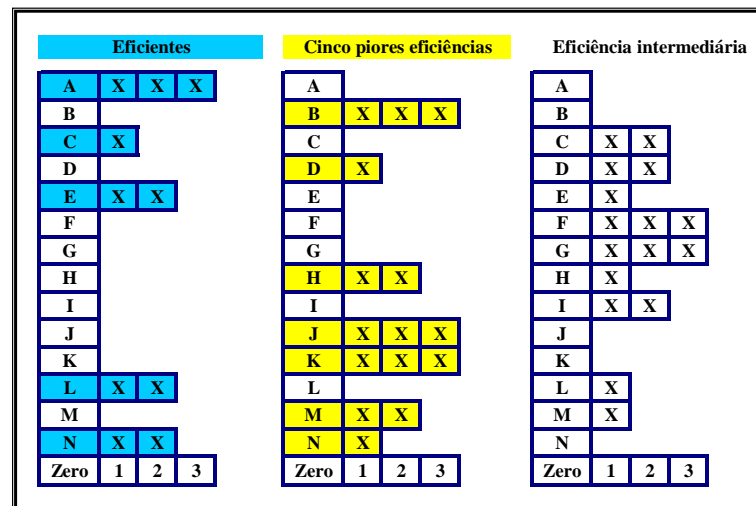


Figura 3.3 - Frequência nos níveis de eficiência das DMU – modelo CCR

Quanto ao grupo de DMU s eficientes, na **Figura 3.3** nota-se que:

- DMU A é a que mais vezes aparece como eficiente, com três vezes;
- DMU E, L e N aparecem duas vezes no grupo de eficientes;
- DMU C aparece uma vez como eficiente;

Classificadas como cinco piores referências para as variáveis selecionadas, estão:

- DMU B, J e K aparecem três vezes no grupo de piores eficiências;
- DMU H e M aparecem duas vezes;
- DMU D e N aparecem uma vez como pior eficiência;

No grupo de eficiência intermediária, ou seja, mais próximas à fronteira de eficiência:

- DMU F e G aparecem três vezes;
- DMU C, D e I aparecem duas vezes;
- DMU L e M aparecem uma vez no grupo de eficiência intermediária;

- Frequência com que DMU são tidas como referência, nos três grupos de variáveis – modelo CCR;

Figura 3.4 - Frequência com que **DMU** são tidas como referência – modelo CCR

Vale ainda lembrar que toda vez que uma DMU for considerada eficiente ela é, naturalmente, a melhor referência para ela mesma.

De maneira análoga, analisa-se o número de vezes que as DMU C, I, L, N aparecem como referência para outras DMU, concluindo-se que apenas a DMU C foi referência para a DMU H no terceiro conjunto de variáveis utilizado, ou seja, com a saída Vendas [Mil Euro] e recursos Estoque [Mil Euro], Custo do Pessoal [Mil Euro], Capital Empregado [Dia].

- Consolidação dos resultados obtidos com o modelo BCC orientado a entrada.

Conjunto	Planta	Eficiência	Classificação	Referência	Variáveis utilizadas - Modelo BCC, orientado a entrada								
					S - Vendas [Mil Euro]	S - Res. Operacional [Mil Euro]	S - Venda / Funcionário [Mil Euro]	E - Estoque [Mil Euro]	E - Estoque [Dias]	E - Custo Pessoal [% Venda]	E - Capital Empregado Mil Euro	E - Funcionários [Qtde]	E - Capital Empregado [Dias]
4º	A	1,000	1	A									
	B	0,557	9	A									
	C	0,422	13	A									
	D	0,374	14	A									
	E	1,000	1	E									
	F	1,000	1	F									
	G	0,998	7	A									
	H	0,545	10	E									
	I	1,000	1	I									
	J	0,485	11	A									
	K	0,462	12	A									
	L	1,000	1	L									
	M	0,984	8	A									
N	1,000	1	N										
5º	A	1,000	1	A									
	B	0,744	9	G									
	C	0,688	11	E									
	D	0,560	14	E									
	E	1,000	1	E									
	F	1,000	1	F									
	G	1,000	1	G									
	H	0,702	10	E									
	I	0,676	12	A									
	J	0,884	8	G									
	K	0,564	13	A									
	L	1,000	1	L									
	M	1,000	1	M									
N	1,000	1	N										
6º	A	1,000	1	A									
	B	0,561	11	F									
	C	0,437	12	M									
	D	0,280	14	F									
	E	1,000	1	E									
	F	1,000	1	F									
	G	0,998	7	F									
	H	0,599	9	A									
	I	0,664	8	A									
	J	0,354	13	F									
	K	0,588	10	A									
	L	1,000	1	L									
	M	1,000	1	M									
N	1,000	1	N										

Tabela 3.34 - Consolidação de resultados gerados com modelo BCC orientado a entrada

Continuando com os mesmos códigos de cores, observamos na **Tabela 3.33** que a variável Vendas [Mil Euro] foi substituída pela variável Resultado Operacional [Mil Euro]. Por isso, como já mencionado, utilizamos o modelo BCC que possibilita o uso de variáveis negativas.

Novamente a DMU A aparece como eficiente em todos os conjuntos de variáveis analisados, porém, no modelo BCC o mesmo acontece com as DMU E, F e N. Observa-se ainda a elevada quantidade de DMU consideradas eficientes em cada conjunto de DMU avaliadas o que evidencia diminuição da capacidade discriminatória dos resultados no modelo

BCC, em função da característica de retorno variável de escala do mesmo, conforme **Figuras 2.6 e 2.7**.

- Frequência nos níveis de eficiência de cada DMU – modelo BCC

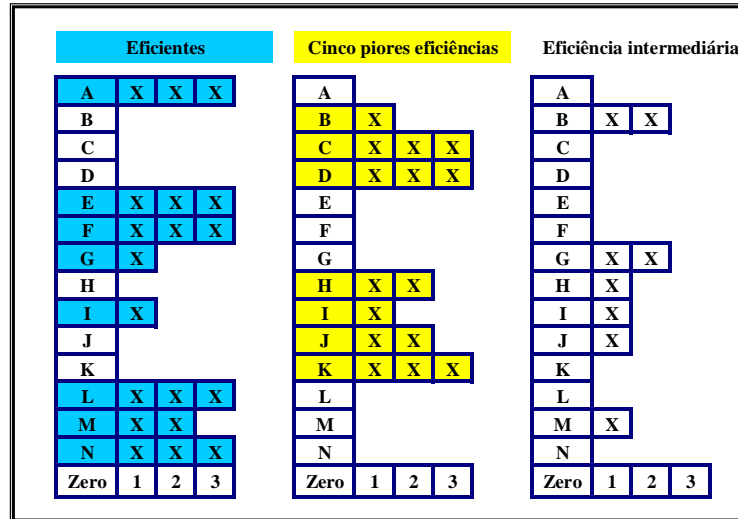


Figura 3.5 - Frequência nos níveis de eficiência das DMU – modelo BCC

Vale ressaltar novamente que a elevada quantidade de DMU eficientes, típico do modelo BCC, diminui a capacidade discriminatória do modelo, como pode ser evidenciado na **Figura 3.5**. Com isso, tanto a quantidade de DMU como a frequência que cada DMU aparece no grupo de eficiência intermediária, branco, é diminuído, mesmo porque o critério para classificar uma DMU no grupo amarelo, é estar entre as cinco piores DMU no conjunto avaliado.

- Assim, as DMU A, E, F, L e N aparecem como parte da fronteira de eficiência nos três conjuntos de variáveis avaliados;
- A DMU M aparece duas vezes;
- As DMU G e I, uma vez cada no grupo de eficientes;

Classificadas como cinco piores referências para as variáveis selecionadas, estão:

- DMU C, D e K aparecem três vezes no grupo de piores eficiências;
- DMU H e J, duas vezes;
- DMU I, uma vez como pior eficiência;

No grupo de eficiência intermediária, ou seja, mais próximas à fronteira de eficiência:

- DMU B e G, duas vezes;
- DMU H, I, J e M aparecem uma vez no grupo de eficiência intermediária;

- Frequência com que DMU são tidas como referência, nos três grupos de variáveis – modelo BCC;

A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
B																	
C																	
D																	
E	X	X	X	X	X	X	X	X									
F	X	X	X	X	X	X	X	X									
G	X	X	X														
H																	
I	X																
J																	
K																	
L	X	X	X														
M	X	X	X														
N	X	X	X														
Zero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

Figura 3.6 - Frequência com que DMU são tidas como referência – modelo BCC

Na análise comparativa da **Figura 3.6** em relação à **Figura 3.4**, nota-se que há uma maior distribuição na classificação das DMU como referência no modelo BCC em relação ao CCR. O fato reforça a teoria de que como o modelo BCC permite o retorno variável de escala a fronteira de eficiência passa por maior número de pontos. Por isso obtivemos maior número de DMU eficientes com BCC do que com CCR, e assim a fronteira de eficiência se torna mais próxima dos outros pontos que compõe o conjunto de possibilidades de produção, conforme **Figuras 2.8 e 2.9**.

De qualquer forma, a DMU A é a que mais vezes aparece como referência para outras DMU, também quando processamos a análise usando o modelo BCC. No entanto, nota-se que no quinto conjunto de variáveis analisadas: saída Resultado Operacional [Mil Euro], recursos Estoque [Dia], Custo de Pessoal [Mil Euro] e Funcionários [quantidade], a DMU A foi tida como referência apenas quando se compara a frequência com que a mesma é tida como referência em todos os outros conjuntos de variáveis, para DMU I e K, além dela mesma. Neste conjunto de variáveis, destaca-se a DMU E que é referência para quatro DMU, incluindo a própria.

As DMU E e F são referência em sete vezes e as DMU G, L, M e N em três vezes, quando utilizado o modelo BCC como referência.

Comparando novamente, agora as **Figuras 3.6 e 3.4**, evidencia-se que a DMU I foi referência apenas para ela mesma, no quarto conjunto de variáveis: saídas, Resultado

Operacional [Mil Euro] e Vendas por Funcionário [Mil Euro], recursos Estoque [Dia], Custo de Pessoal em relação a Vendas [%].

- Classificação de eficiências BSC da empresa objeto do estudo, com eficiências DEA.

Com o objetivo de avaliar a classificação de eficiências BSC que é processada hoje pela empresa alvo do presente estudo e a eficiência obtida pelos resultados DEA, foram utilizados os seguintes direcionadores e considerações:

- Eficiência BSC – o termo utilizado pela empresa não condiz com o conceito de eficiência definido por Cooper et al. (2006), que o faz como sendo a relação entre benefícios obtidos e recursos utilizados, e ainda, como conceito relativo que compara o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido utilizando as mesmas entradas. Eficiência pode ser entendida como uma comparação entre as produtividades observadas. Os gestores da empresa em estudo misturam o conceito de produtividade e eficácia, enquanto comparam o desempenho das mesmas com o estabelecido em Plano Econômico anual, e nomeiam esta análise como Eficiência BSC. Desta forma, o termo “Eficiência BSC” será substituído por “Eficácia do Planejamento”, com o objetivo de facilitar o entendimento das análises comparativas.
- Eficiência DEA – para viabilizar uma análise comparativa única de eficiências, as mesmas por modelo CCR e BCC e única da ferramenta DEA, as mesmas terão médias simples processadas.

	BSC		DEA CCR		DEA BCC		DEA		
	Eficácia do Planejamento	Classificação	Eficiência	Classificação	Eficiência	Classificação	Eficiência	Amplitude	Classificação (pela média)
A	9,2	1	1,000	1	1,000	1	1,000	0,000	1
B	2,6	12	0,426	13	0,621	9	0,523	0,195	11
C	7,7	6	0,683	7	0,516	13	0,599	0,167	9
D	6,6	9	0,514	9	0,405	14	0,459	0,109	14
E	2,3	13	0,990	2	1,000	1	0,995	0,010	2
F	7,2	8	0,790	5	1,000	1	0,895	0,210	4
G	8,3	3	0,621	8	0,999	6	0,810	0,378	6
H	7,3	7	0,449	10	0,615	10	0,532	0,166	10
I	7,8	4	0,819	4	0,780	8	0,800	0,039	7
J	7,8	4	0,441	11	0,574	11	0,507	0,134	12
K	4,5	11	0,410	14	0,538	12	0,474	0,128	13
L	8,9	2	0,975	3	1,000	1	0,988	0,025	3
M	5,7	10	0,429	12	0,995	7	0,712	0,566	8
N	1,8	14	0,748	6	1,000	1	0,874	0,252	5

Tabela 3.35 - Eficácia de planejamento e eficiências DEA

A partir dos dados consolidados na **Tabela 3.35** várias análises podem ser efetuadas. Inicialmente foi realizada uma análise de correlação entre os resultados obtidos com a Eficácia do Planejamento obtida pelo BSC da empresa alvo da análise com a Eficiência média obtida com os vários grupos de variáveis escolhidas para os modelos CCR e BCC, além da média aritmética da Eficiência obtida por estes modelos (**Tabela 3.36**).

	<b>Eficiência CCR</b>	<b>Eficiência BCC</b>	<b>BSC - Eficácia do Planejamento</b>
<b>Eficiência CCR</b>	1		
<b>Eficiência BCC</b>	<b>0,637</b>	1	
	<b>0,014</b>		
<b>BSC - Eficácia do Planejamento</b>	<b>0,174</b>	<b>-0,010</b>	1
	<b>0,552</b>	<b>0,971</b>	

Tabela 3.36 – Correlação / P-value entre Eficácia BSC e Eficiências CCR e BCC

Ressalta-se que Eficácia do Planejamento BSC apresentou muito baixa correlação com a Eficiência BCC, -0,010, que tem sempre Resultado Operacional como um dado de entrada, com a Eficiência CCR, +0,174, que tem sempre Vendas como um dado de entrada, e também com a Eficiência DEA média, +0,089.

O fato leva a concluir que embora algumas DMU tenham atingido o resultado esperado e documentado no plano econômico do ano em questão não necessariamente elas atingiram boa classificação quanto a eficiência em relação ao grupo de DMU e variáveis selecionadas, como por exemplo a DMU J.

De maneira análoga, algumas DMU bem posicionadas na classificação de eficientes podem não ter tido uma classificação correspondente quanto à eficácia, como por exemplo, a DMU E.

Ressalta-se ainda que a correlação entre Eficiências obtidas pelos modelos CCR e BCC +0,637 pode ser classificada como forte, uma vez que foi obtido um P-value menor que 0,050.

Assim, nota-se na **Tabela 3.35** que como os critérios para geração Eficácia de Planejamento BSC e Eficiência DEA são diferentes, a análise comparativa é na verdade complementar.

Evidencia-se que a DMU A é classificada como eficiente e eficaz em todos os métodos, o que denota boa capacidade de planejamento e excelente eficiência na comparação



com o grupo de DMU em questão, variáveis avaliadas e métodos utilizados, tanto em relação à média como amplitude das eficiências DEA CCR e BCC.

A classificação da DMU L também mostrou coerência entre a capacidade de planejamento e cumprimento do planejado, representados pelas colunas referentes à Eficácia de Planejamento, segunda na classificação, e a eficiência DEA nos modelos CCR e BCC, terceira na classificação.

Mesma coerência pode ser observada nas DMU B, D e K que apresentaram resultados ruins em todas as análises efetuadas utilizando todos os critérios e métodos.

Entretanto, reforça-se o resultado obtido com a análise de correlação da tabela 3.36, que as DMU C, E, F, G, H, I, J, M e N, que são maioria no grupo em análise, que nem sempre uma DMU que demonstrou, em dado período, um planejamento adequado e cumpriu o planejado é uma DMU eficiente quando comparada com os resultados das outras DMU do grupo de produto. O inverso também é verdadeiro.

A avaliação da coluna Amplitude dos resultados DEA permite verificar a influência da seleção de variáveis efetuada e do modelo utilizado na eficiência de cada DMU. Nota-se assim que a DMU A, com amplitude igual a zero, é sempre eficiente independente da seleção de variáveis efetuadas neste trabalho e do modelo utilizado. Pode ser ainda evidenciada na coluna Amplitude, que as DMU E, L e I foram pouco influenciadas, relativamente ao conjunto de DMU em questão, pela seleção de variáveis e modelo, enquanto que as eficiências das DMU M, G e N foram muito influenciadas.

Para a análise de cada variável que mais deve ser melhorada de cada DMU, os modelos, como são orientados a entradas, procuram a melhor combinação dos mesmos mantendo as saídas existentes. Caso a solução ótima não seja atingida apenas com a soma dos valores da coluna “Projeção” aplicada a entradas, então o programa busca a mínima necessária projeção na variável de saída.

Assim, o Pesquisador identificou que os números calculados como necessários para tornar uma DMU de manufatura qualquer eficiente muitas vezes não são factíveis de serem atingidos na prática. Um a ser citado exemplo é a melhora calculada em 999,99% da variável Resultado Operacional da DMU D, que possuía -744 Mil Euro na data da análise, quando utilizado o sexto conjunto de variáveis e modelo BCC, ou seja, para as variáveis Resultado Operacional [Mil Euro], Estoque [Mil Euro], Capital Empregado [Dias] e Custo do Pessoal [Mil Euro]. No entanto, é do entender do Pesquisador que os resultados calculados são excelente fonte de informação para identificação e análise de intensidade do que precisa ser melhorado em cada DMU.

### **3.7 Considerações finais**

Foram obtidos dados reais da empresa alvo da análise, selecionados para compor conjunto de variáveis e atender a necessidade da ferramenta DEA, levando em consideração também à correlação entre variáveis. Seis conjuntos de variáveis foram selecionados.

O modelo CCR foi aplicado aos três conjuntos de variáveis com dados positivos e o BCC aos três conjuntos que apresentavam dados negativos, tratados antes de aplicar o modelo.

As eficiências de cada DMU foram obtidas bem como o que precisa ser melhorado de cada variável em cada DMU, respeitando o grupo de variáveis e modelos aplicados.

A combinação da análise das eficiências obtidas pela aplicação do modelo DEA nos seis grupos de variáveis selecionados, em conjunto com eficácia do planejamento efetuada pela empresa alvo do trabalho, com os indicadores BSC, possibilitou a execução da análise comparativa entre eficácia e eficiência de cada DMU avaliada.

## 4. Conclusão

### 4.1 Contribuições deste trabalho

- a) Quanto ao objetivo principal deste trabalho de pesquisa, que é: avaliar o desempenho de diversas DMU de manufatura de autopeças através da Análise Envoltória de Dados utilizando métodos e critérios que contemplam vários dos fatores que caracterizam as atividades destas DMU e suas relações.

Na análise preliminar da aplicação do DEA para análise de eficiência das DMU de manufatura, conclui o Pesquisador que esta recebeu forte influência da restrição típica da ferramenta quanto à quantidade de variáveis a serem avaliadas por processo de análise.

Além deste fato, a análise comparativa entre a “Eficácia no Planejamento” e eficiências DEA, tanto CCR como BCC, um dos objetivos secundários do trabalho, mostrou-se complementar à análise de eficiência individualmente utilizando DEA, uma vez que os parâmetros, métodos e critérios para obtenção das eficiências BSC e DEA são diferentes e complementares. Assim sendo, o Pesquisador buscou então a análise crítica da relação entre qualidade do planejamento e execução com a eficiência obtida enquanto pertencente ao grupo de DMU em análise. O fato, embora possível, foi também influenciado pela restrição quanto à quantidade de variáveis a serem avaliadas por processo de análise.

Desta forma, outro fator relevante na análise efetuada se mostrou a seleção de variáveis impacta diretamente os resultados obtidos. No caso em questão, uma combinação da análise de correlação linear com fatores considerados relevantes face ao alinhamento dos mesmos com a estratégia da empresa e a experiência do Pesquisador, foram utilizados como referência para a seleção.

Pode ser evidenciado que a DMU A é realmente a melhor referência e foi considerada como eficiente em todas as análises DEA efetuadas, para o grupo de DMU avaliadas e variáveis escolhidas. Como a DMU A mostra-se como a melhor DMU na análise da eficiência BSC, entende o Pesquisador que a mesma mostra excelente nível de qualidade de planejamento assim como resultados notórios, quando avaliado o caso em questão.

A DMU E mostra-se também uma excelente referência DEA para o grupo de DMU, com pode ser evidenciado nas **Figuras 3.2 e 3.4**. No entanto, a empresa não a classifica como referência em qualidade de planejamento, uma vez que está posicionada no décimo terceiro lugar (**Tabelas 3.2 e 3.35**).

A DMU L se mostrou muito diferente das outras DMU no que tange a dimensão dos indicadores avaliados, pois, é a maior DMU do grupo. Assim, mesmo fazendo parte da fronteira eficiência ela em nenhum momento foi considerada como referência para outras DMU além dela mesma, nos modelos DEA avaliados. Além disso, esta apresenta uma excelente qualidade de planejamento, uma vez que está classificada em segundo lugar pela metodologia BSC da empresa alvo da análise.

- b) Demonstrar a relevância de efetuar cálculo de pesos relativos à importância de cada variável, que serão aplicados a cada variável e em todas as DMU de manufatura, minimizando a subjetividade da análise.

Mesmo com a citada restrição e conseqüente e necessário exercício de seleção de variáveis, observa-se que a existência de pesos calculados, que mostram a importância de cada variável no cálculo da eficiência das DMU, pode limitar o impacto cultural da análise, enquanto minimiza a subjetividade da mesma. Porém, a identificação dos pesos de cada variável bem como da eficiência das DMU não garantem a definição de ações de melhoria ou correção, pois o caso avaliado contém elevada conotação estratégica. Todavia, nota-se que o custo de eventuais decisões estratégicas bem como os esperados benefícios obtidos com estas definições podem também ser avaliados através de exercícios, por exemplo, que possibilitem simulação de situações esperadas com as mudanças ainda na fase de planejamento, avaliando tanto os pesos identificados como a Variável Sombra, ou Projeção, calculada.

- c) Identificar fronteira de eficiência relativa ao conjunto de DMU avaliado.

A definição da fronteira de eficiência é única para cada combinação de grupo de variáveis selecionadas e modelo gerado. Como os grupos foram compostos por quatro variáveis por modelo, a mesma não pode ser visualizada por gráfico bi-dimensional. Assim sendo, as seis diferentes combinações do caso em estudo geram seis fronteiras de eficiência diferentes.

No entanto, com base nos resultados obtidos, o Pesquisador pode concluir que a DMU A faz parte da fronteira de eficiência de todas as seis combinações avaliadas. Além da DMU A, as DMU C, E, I, L, N fazem parte de pelo menos uma das fronteiras de eficiência geradas para cada uma das seis combinações de grupo de variáveis selecionadas enquanto são eficientes, na frequência que pode ser notada nas **Figuras 3.1 e 3.3**.

d) Identificar o que pode ser melhorado nas DMU de eficiência inferior.

Através da quantificação da Variável Sombra, ou Projeção, de cada equação de igualdade restritiva gerada pelo programa DEA Solver de Cooper (2006), pode-se identificar o que e quanto cada variável deve ser melhorada, como pode ser observado na coluna “Projeção” do *Anexo A* e das *tabelas 3.24, 3.26, 3.28, 3.30 e 3.32*.

Porém, os valores calculados muitas vezes não são factíveis de serem atingidos. Este fato não desmerece a ferramenta DEA, mas mostra a importância do profundo conhecimento do objeto de estudo pelo Pesquisador para que se possa definir estratégias e ações para otimizar a eficiência das DMU dentro de restrições típicas de mercado e ambiente de produção.

e) Auxiliar na definição de estratégias e ações voltadas para o aumento da eficiência local e, como consequência, do desempenho global.

A ferramenta mostra-se útil para auxiliar a definição de estratégias para o objeto de estudo. A correlação dos dados obtidos pelo uso da ferramenta DEA também se mostrou útil para melhor entendimento da situação de cada unidade de decisão em relação a eficiência e eficácia. No entanto, é fundamental que as conclusões obtidas da análise *DEA* sejam também avaliadas por especialistas da empresa em análise para ponderar o que pode ser feito visando a melhora da eficiência. O Pesquisador entende, no entanto, que dada à natureza e relevância das decisões que podem ser extraídas da análise DEA é desejável que esta seja uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão no objeto de estudo, somando-se às ferramentas atualmente aplicadas e experiência do Comitê Diretivo da empresa.

## **4.2 Sugestões para trabalhos futuros**

A adequada aplicação da ferramenta DEA demanda a existência e disponibilidade de especialistas na ferramenta, programas computacionais bem como de conhecedores do objeto de estudo. Mas, uma vez criada a competência, pode-se identificar várias oportunidades em empresas, que podem gerar benefícios futuros, principalmente onde há tipicamente a combinação de número elevado de DMU's com número relativamente reduzido de variáveis de estudo, respeitando a limitação de relação entre elas em menos de três como, por exemplo:

- Análise de eficiência de grupo de motores;
- Análise de eficiência de Centros de Tecnologia;
- Análise de eficiência de grupo de máquinas, no auxílio a ferramentas de Produção e Manutenção Preditiva;

- Análise de eficiência de grupos de células de manufatura.

Há ainda outros métodos estatísticos como PCA – *Principal Component Analysis* e também de análise comparativa de resultados, como AHP – *Analytic Hierarchy Process* que podem ser usados em combinação com DEA para facilitar o processo de tomada de decisão.

### **4.3 Considerações finais**

A combinação da aplicação de análise de correlação na seleção de variáveis e também na comparação entre resultados de eficiência e eficácia se mostrou uma ferramenta eficaz na busca do entendimento do objeto de estudo.

Desta forma, a aplicação do DEA no auxílio para a priorização de ações de melhoria pode também contribuir com a evolução de empresas com várias unidades de análise.

No entanto, dada à limitação da relação de variáveis por quantidade de unidades de decisão, a combinação DEA e correlação linear mostra-se uma alternativa importante.

Importante ressaltar assim que o uso da ferramenta DEA pode auxiliar a tomada de decisão em problemas do tipo avaliação de desempenho. Todavia, a importante experiência dos profissionais tipicamente envolvidos no assunto desta relevância é fundamental para que se maximize o resultado da análise de eficiências, tanto em casos como este de extremo teor estratégico como em situações operacionais, como as citadas nas sugestões para trabalhos futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES JR., J. A. V.; CASSEL, R. A.; OENNING, V. Maximização da lucratividade em produção conjunta: um caso na indústria frigorífica. *Produção*, v. 16, n. 2, p. 244-257, Maio/Ago. 2006.

AVKIRAN, N. K.; An application reference for data envelopment analysis in branch banking: helping the novice researcher. *International Journal of Bank Marketing*, 1999.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W.; Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science USA*, volume 30, number 9, 1984.

BELLONI, J.A.; Uma Metodologia de Avaliação de Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras. Tese (Doutorado). 2000.

BRITO, S. C.; Medidas completas de eficiência técnica. 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BRUNETTA, M.R.: Avaliação da eficiência técnica e de produtividade usando Análise por Envoltória de Dados: Um estudo de caso aplicado a produtores de leite. Curitiba: Programa de Pós-graduação de Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, 2004, 113p. Dissertação (Mestrado). CAINE, D. J.; PARKER, B. J. Linear Programming comes of age: a decision support tool for every manager. *Management Decision*. 1996. pp46-53. Artigo. MCB University Press.

CAMPOS, V. F. Gerenciamento pelas Diretrizes (Hoshin Kanri). Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIN, A.Y.; MOREY, R.C.; ROUSSEAU, J.; Sensitivity and stability analysis in DEA. University of Texas at Austin, USA. *Annals of Operations Research* 2, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E.; Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 1978.

CHEN, M.; WANG, W. ; A linear programming model for integrated steel production and distribution planning. *International Journal of Operations & Production Manager*. 1997. pp592-610. MCB University Press.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K.; Introduction to Data Envelopment Analysis and its use. 2006.

CORDEIRO, J. J.; MUKHERJEE, G.; KENT, D. D.; Non-parametric assessment of CEO compensation practices. *Management Research News*, volume 29, number 6, 2006.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D; Action Research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management Vol. 22 No 2*, 2002.

DEBREU, G.; The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, volume 19, number 3, 1951.

FÄRE, R.; Efficiency and production function. Zeitschrift für Nationalökonomie, Lund, Sweden, 1975.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; Measuring productivity: A comment. International Journal of Operations and Production Management, volume 14, number 9, 1994.

FARREL, M. J.; The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Serie A (General), volume 120, number 3, 1957.

FITZGERALD, F.; STORBECK, J. E.; Pluralistic view of performance. Management Decision, 2003.

FORSUND, F.R.; SARAFOGLOU, N.; The tale of two research communities: The diffusion of research on productive efficiency. International Journal of Production Economics 98, 2005.

GOMES, YASIN e LISBOA; A literature review of manufacturing performance measures and measurement, in a organization context: a framework for direction for future research. Journal of Manufacturing Technology Manager, volume 15, number 6, 2004.

KASSAI, S.; Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis. 2002. 350p. Dissertação de Doutorado – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – Universidade de São Paulo.

LEACHMAN, C.; PEGEL, C. C.; SHIN, S. K.; Manufacturing performance: evaluation and determinants. International Journal of Operations and Production Management, volume 25, number 9, 2005.

LEITNER K. H.; LINZATTI M. S.; STOWASSER R.; WAGNER, K.; Data envelopment analysis as a method for evaluating intellectual capital. Journal of Intellectual Capital, volume 6, number 4, 2005.

LIOU H. C.; CHEN, Y. K.; Optimizing multi-response problem in Taguchi method by DEA based on ranking method. International Journal of Quality & Reability Method, volume 19, number 2, 2002.

LINS, M. P. E; CALÔBA, G. M. Programação Linear: com aplicações em teoria dos jogos e avaliação de desempenho (Data Envelopment Analysis). Rio de Janeiro; Interciência - 2006. LIU, F.; YU, D.; Evaluation of plant maintenance based on data envelopment analysis. Journal of Quality in Maintenance Engineering, volume 10, number 3, 2004.

MARTINS, E. (2003), Contabilidade de custos, Editora Atlas, 9a Edição.

MADU C. N.; KUEI C. H.; Application of data envelop analysis in bechmarking. International Journal of Quality Science, volume 3, number 4, 1998.

MELLO, J.C.C. B.S.; MEZA, L.A.; GOMES, E.G.; NETO, L.B.; Curso de análise de envoltória de dados. XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2005.

Microsoft, Excel, copyright 1985-1994, Microsoft Corporation



NEELY, A.; The evolution of performance measurement research: Developments of the last decade and a research agenda for the next. *International Journal of Operations and Production Management*, volume 25, number 12, 2005.

OBOULHAS, T.; XU, X.; ZHAN, D.; Multy-plant purchase co-ordination based on multi-agent system in a ATO environment. *Journal of Manufacturing Fechnology Management* Vol. 16 No., 2005. pp654-669. Emerald Group Publishing Limited.

PAIVA, F.C. - Eficiência produtiva de programas de ensino de pós-graduação em engenharias: uma aplicação do método Análise Envoltória de Dados-DEA. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000, 79p. Dissertação (Mestrado).

PETRONI, A.; BEVILACQUA, M.; Identifying manufacturing flexibility best practices in small and medium enterprises. *International Journal of Operations and Production Management*, volume 22, number 8, 2002.

PINDYCK, R.; RUBENFIELD, D. L.; Microeconomia. Quinta Edição. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

PORTELINHA, M. A; Contribuição do mapa estratégico para as atuações na cadeia de suprimentos em uma empresa do setor elétrico. Programa de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá. Dissertação de Mestrado. Março de 2004.

RICARDS, R. C.; Setting benchmarks and evaluating balanced score cards with data envelopment analysis. *Benchmarking: An International Journal*, volume 10, number 3, 2003.

SANTANA, N. B.; PÉRICO, A. E.; REBELATTO, D. A. N.; Investimento em responsabilidade sócio-ambiental de empresas distribuidoras de energia elétrica: uma análise por envoltória de dados. *Revista Gestão Industrial*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

SARKIS, J.; Benchmarking for agility. *An International Journal*, volume 8, number 2, 2001.

SEYDEL, J.; Data envelopment analysis for decision support. *Industrial Management & Data Systems*, volume 106, number 1, 2006.

SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C.. *Pesquisa Operacional: Programação Linear*. 3Ed. São Paulo, 1988.

SIMAK, P. C.; Dea based analysis on corporate failure. University of Toronto, Ontario, Canada, 1997.

SINGH H.; MOTWANI J.; KUMAR A.; A review an analysis of the state-of-the-art research on productivity measurement. *Industrial Management & Data Systems*, 2000.

SOFIANOPOULOU, S.; Manufacturing cells efficiency evaluation using data envelopment analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, volume 17, number 2, 2006.

SVENSSON, G.; Supplier segmentation in the automotive industry: A dyadic approach of a managerial model. *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, volume 34, number 1, 2004.

ZHU, J.; Data envelopment analysis vs. Principal component analysis: An illustrative study of economic performance of Chinese cities. 1998. 12p. Elsevier Science B. V. European Journal of Operational Research.

ZHU, J; Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. Worcester Polytechnic Institute, USA, 2003.

# ANEXO A

DMU / Variável	Eficiência / Dado	Projeção	Diferença	%
<b>A</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	24,5	24,500	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	14,3	14,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	21589	21589	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	41	41,000	0,000	0,00%
<b>B</b>	<b>0,238</b>			
Estoque-dias	43,6	10,376	-33,224	-76,20%
CustodePessoal-% Vendas	55,5	13,208	-42,292	-76,20%
Vendas-MilEURO	2369	7578	5208,563	219,86%
VendasFuncionário-MilEURO	21,9	21,900	0,000	0,00%
<b>C</b>	<b>0,390</b>			
Estoque-dias	33,1	12,923	-20,177	-60,96%
CustodePessoal-% Vendas	39	15,227	-23,773	-60,96%
Vendas-MilEURO	5502	9706	4203,624	76,40%
VendasFuncionário-MilEURO	26,5	26,500	0,000	0,00%
<b>D</b>	<b>0,347</b>			
Estoque-dias	42,4	14,714	-27,686	-65,30%
CustodePessoal-% Vendas	46	15,963	-30,037	-65,30%
Vendas-MilEURO	6426	11351	4924,882	76,64%
VendasFuncionário-MilEURO	29,3	29,300	0,000	0,00%
<b>E</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	15	15,000	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	31,3	31,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	8282	8282	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	39,4	39,400	0,000	0,00%
<b>F</b>	<b>0,725</b>			
Estoque-dias	44,4	27,309	-17,091	-38,49%
CustodePessoal-% Vendas	22	15,939	-6,061	-27,55%
Vendas-MilEURO	1371	24064	22693,083	999,90%
VendasFuncionário-MilEURO	45,7	45,700	0,000	0,00%
<b>G</b>	<b>0,448</b>			
Estoque-dias	24,2	10,833	-13,367	-55,24%
CustodePessoal-% Vendas	41,5	18,577	-22,923	-55,24%
Vendas-MilEURO	3057	6863	3806,413	124,53%
VendasFuncionário-MilEURO	25,9	25,900	0,000	0,00%
<b>H</b>	<b>0,181</b>			
Estoque-dias	34,1	6,168	-27,932	-81,91%
CustodePessoal-% Vendas	87,8	12,870	-74,930	-85,34%
Vendas-MilEURO	2972	3405	433,239	14,58%
VendasFuncionário-MilEURO	16,2	16,200	0,000	0,00%
<b>I</b>	<b>0,770</b>			
Estoque-dias	64,4	27,428	-36,972	-57,41%
CustodePessoal-% Vendas	20,8	16,009	-4,791	-23,03%
Vendas-MilEURO	2797	24169	21372,257	764,14%
VendasFuncionário-MilEURO	45,9	45,900	0,000	0,00%
<b>J</b>	<b>0,154</b>			
Estoque-dias	35,1	5,395	-29,705	-84,63%
CustodePessoal-% Vendas	24,3	3,735	-20,565	-84,63%
Vendas-MilEURO	4337	4626	288,281	6,65%
VendasFuncionário-MilEURO	9,4	9,400	0,000	0,00%
<b>K</b>	<b>0,145</b>			
Estoque-dias	91	6,493	-84,507	-92,87%
CustodePessoal-% Vendas	26,1	3,790	-22,310	-85,48%
Vendas-MilEURO	5721	5721	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	10,2	10,865	0,665	6,52%
<b>L</b>	<b>1</b>			
Estoque-dias	23	23,000	0,000	0,00%
CustodePessoal-% Vendas	27,3	27,300	0,000	0,00%
Vendas-MilEURO	34753	34753	0,000	0,00%
VendasFuncionário-MilEURO	13,8	13,800	0,000	0,00%
<b>M</b>	<b>0,288</b>			
Estoque-dias	42,5	12,231	-30,269	-71,22%
CustodePessoal-% Vendas	45,8	13,181	-32,619	-71,22%
Vendas-MilEURO	803	9455	8651,740	999,90%
VendasFuncionário-MilEURO	24,3	24,300	0,000	0,00%
<b>N</b>	<b>0,245</b>			
Estoque-dias	81	4,780	-76,220	-94,10%
CustodePessoal-% Vendas	11,4	2,790	-8,610	-75,52%
Vendas-MilEURO	1056	4212	3156,274	298,83%
VendasFuncionário-MilEURO	8	8,000	0,000	0,00%

Anexo A – Análise das variáveis de cada DMU – CCR 1

## **ANEXO B – DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

Resultado Operacional (Mil Euro) – Valor da Receita Operacional Líquida deduzida do Custo do Produto Vendido, das Despesas Operacionais e deduzida e acrescida das Despesas e Receitas Operacionais, no trimestre;

Estoque (Mil Euro) – Soma dos custos de matéria prima e materiais auxiliares à produção, produtos em processo e acabados efetuados no trimestre;

Estoque 13pa (Dias) – Valor médio ponderado em 13 meses de estoque, em relação ao valor médio ponderado de vendas no mesmo período. O resultado é obtido em dias;

Funcionários (quantidade) – Quantidade de funcionários efetivos empregados em média no trimestre;

Custo do pessoal em relação a vendas (%) – Relação do custo do pessoal médio em relação a valor médio de vendas, ambos relativo ao trimestre e obtido em percentagem;

Vendas por Funcionário (Mil Euro) – Relação entre média mensal do valor de vendas do período pela quantidade média mensal de funcionários empregados;

ROCE 13pa (%) – Retorno sobre o capital empregado aplicado sobre média ponderada de 13 meses;

Prazo de entrega (%) – relação percentual entre a quantidade de pedidos entregues no prazo e a quantidade de pedidos recebida, no trimestre;

PPM – Relação da quantidade de defeituosos identificados pelos clientes em pela a quantidade entregue aos clientes, no trimestre, expressos em partes por milhão;

Vendas (Mil Euro) – Valor total das vendas efetuadas no trimestre.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)