

## 4. Análise Envoltória de Dados (DEA) e uma proposta de modelo para avaliar a eficiência das empresas de comércio eletrônico

### 4.1. Conceitos Básicos

#### 4.1.1. Produtividade, Curva de Produção, Eficiência e Eficácia.

Devido à globalização, competitividade cada vez mais acirrada e um elevado nível de exigência por parte dos consumidores, as empresas precisam constantemente monitorar e avaliar a eficiência e desempenho das suas concorrentes, e assim aplicar o *benchmark*.

Existem algumas expressões que se encontram intrinsecamente relacionadas ao desempenho: produtividade, eficácia, eficiência. Produtividade é definida como a relação entre os produtos e os insumos necessários, razão entre *output* produzido e *input* disponível (Coelli, *et al* 1998).

Quando o sistema produtivo é medido apenas por um insumo(*input*) e um produto(*output*), a produtividade é definida como sendo:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produto}}{\text{Insumo}}$$

A diferença entre produtividade e eficiência é que a eficiência expressa um relação ótima entre recursos consumidos e produtos gerados.

Outro conceito importante é a eficácia que é definida como a relação entre os resultados obtidos e os resultados desejados ou previstos, sem levar em conta os recursos utilizados. Ser eficaz é fazer com que um trabalho atinja plenamente os resultados esperados (Figueiredo, 2005). Para alguns autores “a eficácia está relacionada ao conceito de fazer a coisa certa. A eficiência está associada a melhor forma de fazer a coisa certa” (Kassai, 2002).

Belloni (2000) afirma que o critério de eficiência na produção está associado aos conceitos de racionalidade econômica e de produtividade material e revela a capacidade da organização de produzir um máximo de resultados com um mínimo de recursos.

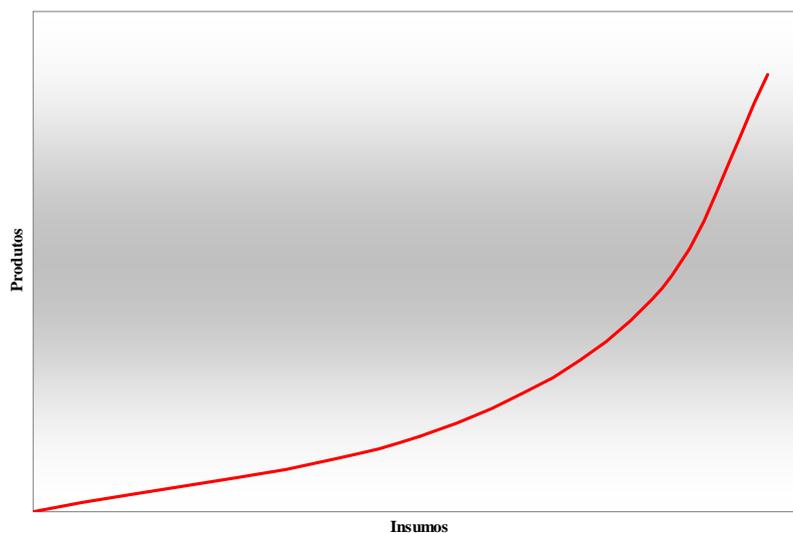
Assim a produtividade de uma empresa é um conceito que está associado às quantidades dos recursos empregados para realizar suas atividades e às quantidades de resultados gerados por essas atividades.

Para analisar a eficiência faz-se necessário entender melhor o conceito das curvas de produção que visam definir a relação entre os insumos e produtos.

As curvas de produção são a base da análise de eficiência, pois as considerações em torno das mesmas visam definir relações entre insumos e produtos (KASSAI, 2002).

As hipóteses que são consideradas para a relação entre insumos e produtos determinam que:

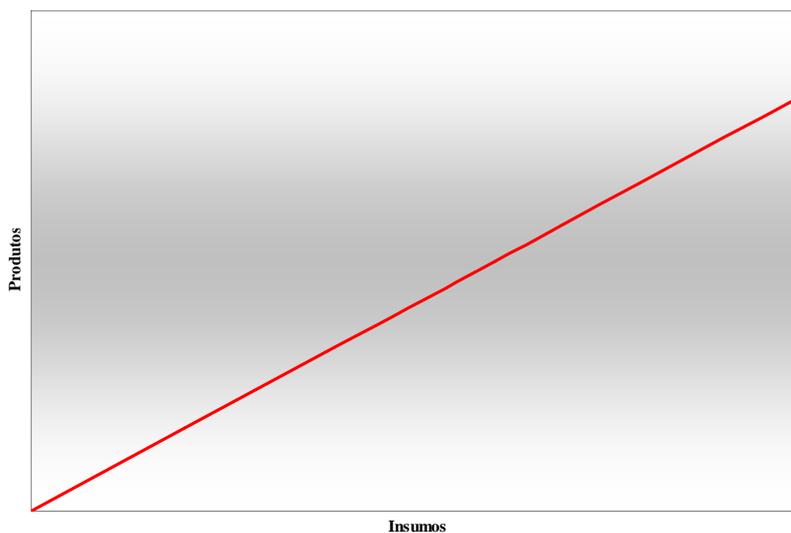
1. Há retornos crescentes de escala, se acréscimos no consumo de recursos implicam em um aumento mais que proporcional na quantidade de produtos gerados.



Fonte: Denise Figueredo (2005)

**Figura 4. Retorno Crescente de Escala**

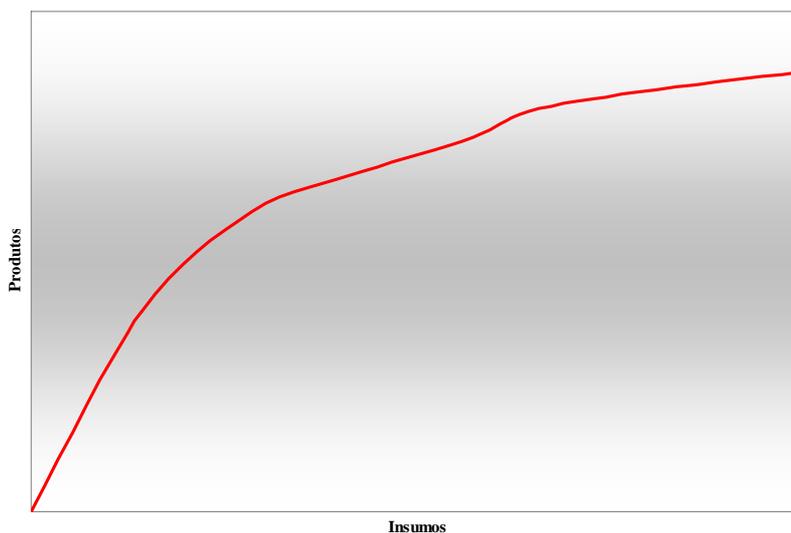
2. Há retornos constantes de escala, quando acréscimos no consumo de recursos levam a aumentos proporcionais na quantidade de produtos obtidos.



Fonte: Denise Figueredo (2005)

**Figura 5. Retorno Constante de Escala**

3. Há retornos decrescentes de escala, quando o acréscimo no insumo resulta em aumentos menos que proporcionais na geração de produtos.



Fonte: Denise Figueredo (2005)

**Figura 6. Retorno Decrescente de Escala**

Sendo assim, pode-se concluir que uma empresa pode ser eficiente, pois se encontra na fronteira de eficiência, mas não ser a mais produtiva, podendo às vezes apresentar produtividade menor que as empresas ineficientes. Segundo Cooper *et. al.* (2000), a empresa não alcançou o ponto de escala econômica ótimo.

Extrapolando o raciocínio para a área empresarial: de nada adianta oferecer o trabalho ou produto mais eficiente entre os existentes, se para tanto os recursos despendidos foram de tal ordem que inviabilizam a rentabilidade do negócio (eficiência). Da mesma forma, não adianta ser altamente produtivo se o que se realiza não atinge as metas ou objetivos almejados (eficácia) (Figueiredo, 2005).

## 4.2. Histórico

O desempenho de uma empresa, em muitos casos, é medido apenas pelo seu faturamento bruto; em outros casos, a empresa que obteve o maior lucro é a mais eficiente. Isso pode não ser verdade, quando se fala em eficiência, onde a empresa que obteve o maior lucro pode não ter aproveitado o máximo de insumos disponíveis que uma outra empresa.

O uso crescente da Análise de Envoltória de Dados (DEA) tem sido justificado pelas várias possibilidades de análise de dados que a metodologia apresenta. Facilidade da utilização, poucas técnicas de avaliação de eficiência das empresas e facilidade na elaboração de cenários são alguns motivos que fizeram com que a técnica fosse cada vez mais aplicada. O DEA ainda facilita a identificação de organizações eficientes e não eficientes, através da análise comparativa do conjunto de *inputs* e *outputs* de cada DMU (*Decision Making Units*) . As organizações mais eficientes servem de *benchmark* (SCHAFFNIT *et at* 1997; SIEMS & BARR, 1998).

M. J. Farrel é uma referência nas publicações sobre a metodologia DEA, simplesmente por ser considerado um dos seus precursores. O seu trabalho permitiu caracterizar a eficiência global como sendo composta por duas componentes distintas de eficiência: a eficiência dos preços e a eficiência técnica.

A origem da técnica DEA se deu a partir de um trabalho desenvolvido por Charnes, Cooper, Rhodes em 1978, mas com base no trabalho de M.J.Farrel (1957). A proposta do trabalho de Charnes, Cooper, Rhodes em 1978 foi comparar a eficiência das escolas públicas americanas, sem a necessidade de se arbitrar pesos para cada variável, e sem converter as variáveis em valores econômicos comparáveis.

Apesar da DEA, inicialmente, ter sido criada para avaliar a eficiência de um sistema de ensino, é uma técnica que tem sofrido um processo de rápido desenvolvimento e os seus modelos cada vez mais acurados e sendo utilizados por diversas áreas, tais como, comércio, setor público, setor financeiro.

#### 4.2.1. Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) é uma técnica de programação matemática que permite avaliar o grau de eficiência produtiva entre várias empresas, denominadas unidades tomadoras de decisão (Decision Making Units – DMU's), considerando os recursos de que se dispõe (*inputs*) com os resultados alcançados (*outputs*).

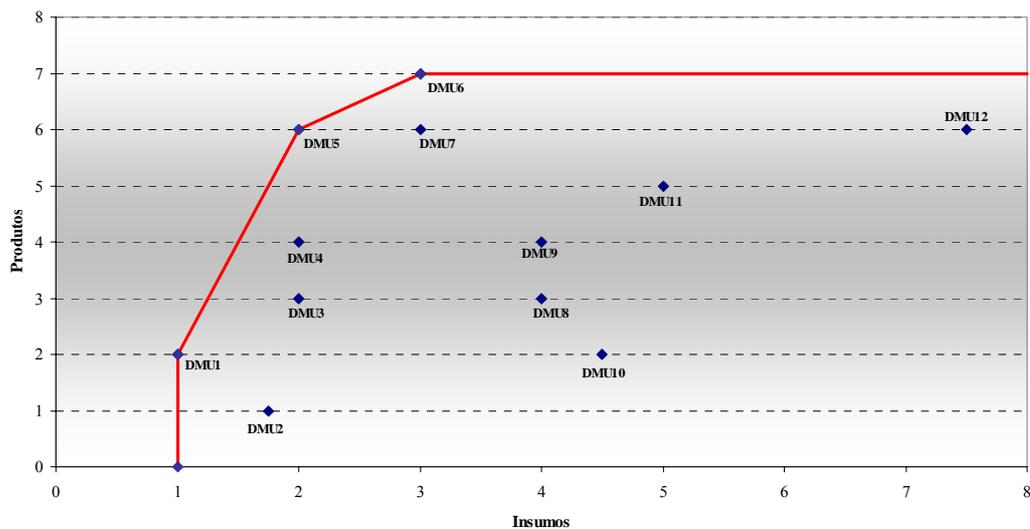
O princípio básico é medir e comparar o desempenho das unidades tomadoras de decisão, que realizam tarefas similares, considerando a relação entre insumos (*inputs*) e produtos (*output*).

As DMU's devem ser auto-suficientes na tomada de decisão, para que possam ser implementadas as sugestões propostas pelo método (Guedes,2002).

Diferentemente dos métodos paramétricos, cujo objetivo é otimizar um plano de regressão simples, a DEA permite otimizar individualmente cada uma das observações, uma em relação as demais, formando assim uma fronteira de eficiência. Essa fronteira de eficiência é definida segundo o conceito de Pareto-Koopmans, pelo nível máximo de produção para um dado nível de insumo. O conceito de Pareto-Koopmans para a eficiência é caracterizado por um vetor input-output, onde um DMU é eficiente se somente se:

- Nenhum dos *outputs* possa ser aumentado sem que algum input necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido.
- Nenhum dos *inputs* possa ser reduzido sem que algum input necessite ser aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido

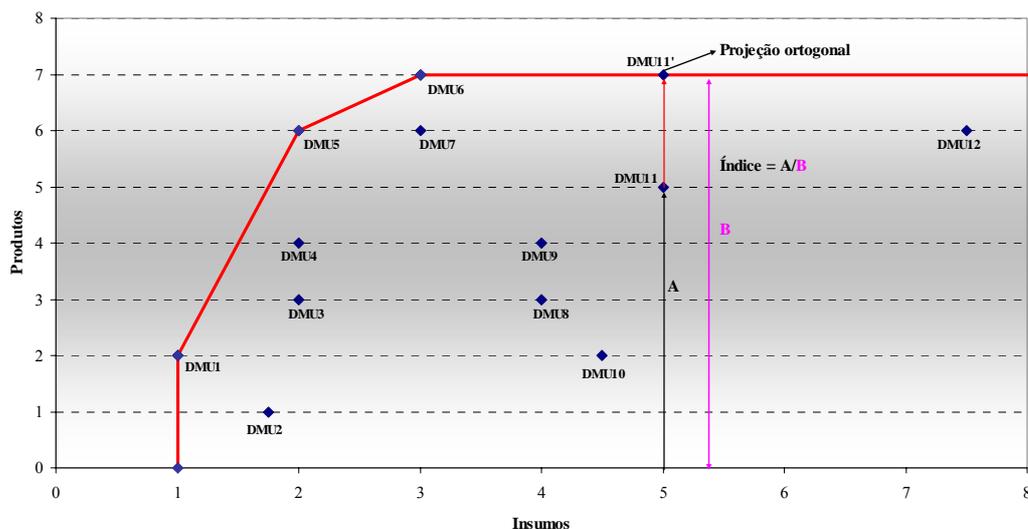
A Figura 7 exemplifica a relação entre a quantidade de insumos e a quantidade produzida por cada DMU. A Figura 4 permite analisar as eficiências relativas.



**Figura 7 – Fronteira de Eficiência**

A DMU 6 consome a mesma quantidade de insumos que a DMU 7, porém produz mais, o que a torna mais eficiente. O mesmo acontece com as DMU 5, 4 e 3. Já a DMU 1 consome menos insumo que a DMU 10, para produzir a mesma quantidade de produtos. Desta forma pode-se dizer que as DMU's mais eficientes conseguiram aproveitar ao máximo a quantidade de insumos disponíveis, produzindo um nível de produtos. A fronteira de eficiência é definida como sendo o nível máximo de produção para um dado nível de insumos e é determinada pelo conceito de Pareto-Koopmans. Neste caso, as DMU's 1, 5, 6 se encontram na fronteira de eficiência.

Uma das características da técnica DEA é que as unidades eficientes são unidas formando uma superfície côncava, onde as DMU's ineficientes são projetadas ortogonalmente na fronteira, e gerando assim o índice. Este índice é calculado através da forma de projeção das ineficientes na fronteira, ou seja, é a distância da unidade até a fronteira, conforme a Figura 8.



**Figura 8. Modelo orientado para a maximização de *output***

A projeção das ineficientes até a fronteira pode ser medida através de dois modelos:

- **Modelos orientados para a maximização de *output* (produtos):** o índice é calculado através da máxima expansão do *output* (produtos) dado uma quantidade de *input* (insumo) utilizada, conforme Figura 8.
- **Modelos orientados para a minimização de *input* (insumo):** a distância é calculada através da máxima redução de *input* para uma mesma produção de *output* (produtos)

Um dos pontos importantes da técnica DEA é que os índices de eficiência são medidas comparativas entre as DMU's analisadas. Isto quer dizer que, se uma DMU (ou várias) foi(ram) incluída(s) na análise, os índices deverão ser recalculados, e a DMU que foi eficiente poderá não ser mais eficiente com a inclusão das novas unidades.

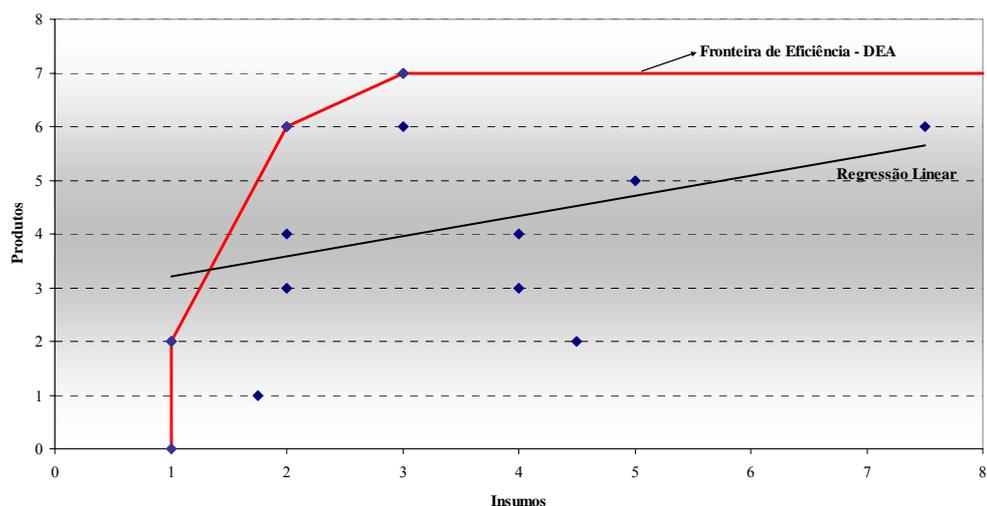
Esta técnica pode ser utilizada para avaliar qualquer tipo de empresa, departamentos ou setores, desde que as comparações entre unidades tomadoras de decisão sejam grupos homogêneos. Sendo assim, podem-se identificar as causas da ineficiência de cada unidade, bem como obter o índice de eficiência. Além disso, as unidades de melhor desempenho, as eficientes, passam a formar o conjunto de referências para as demais unidades.

Conforme foi mencionado anteriormente, a técnica DEA, por otimizar cada uma das observações individualmente, uma em relação às demais, determinando assim a fronteira de eficiência, contrasta com os métodos paramétricos, cujo objetivo é otimizar um plano de regressão simples, isto é, aplica-se a mesma função para cada observação. Uma outra vantagem da técnica DEA é que não se precisa fazer nenhuma suposição da distribuição das variáveis, por ser uma técnica não-paramétrica. Além disso, pode-se gerar um indicador único de eficiência considerando diversos insumos e produtos, sem que haja a necessidade de predefinir uma função de produção. Tanto os insumos, quanto os produtos gerados podem ser múltiplos.

Em função das vantagens descritas anteriormente, a DEA possui uma desvantagem quanto às técnicas de estimação paramétrica, que está direcionada ao testes para a comprovação de hipóteses. Neste caso, não se pode testar com rigor estatístico, bem como o erro relativo à estimação da fronteira, uma vez que os insumos e produtos são variáveis aleatórias.

Em suma, o foco da DEA está nas observações individuais representadas por n otimizações, uma para cada DMU, não tendo foco nas médias e nas estimativas de parâmetros que estão associadas com as técnicas e aproximações estatísticas (Charnes, *et al.*, 1994).

A Figura 9 mostra um comparativo entre a DEA e a análise de regressão.



**Figura 9. Comparação entre DEA e Análise de Regressão (Charnes et, al., 1994)**

A Análise de Regressão resulta em uma reta onde a soma das distâncias em relação às observações é zero. Por ser uma reta média, isto não significa

necessariamente o desempenho de nenhuma das DMU's analisadas. Charnes et al. menciona que Análise de Regressão requer uma função de produção, e que variáveis independentes se relacionem com as variáveis dependentes através dessa função e que assumam hipóteses específicas sobre distribuição de erros. Em contrapartida, a DEA calcula a máxima medida de desempenho para cada DMU relativa a todas as outras DMU's, partindo do princípio de que cada DMU está na fronteira de eficiência ou abaixo dela.

#### 4.2.2. Construindo o Modelo DEA

A primeira etapa do modelo DEA é definir o que se quer medir com as DMUs. Vale ressaltar que para avaliar a eficiência, as unidades tomadoras de decisão devem realizar tarefas similares, de modo que a comparação entre elas faça sentido. Além disso, uma característica da técnica DEA é que os *inputs* (insumos) e *outputs* (produtos) sejam iguais, variando apenas na quantidade.

Golany & Roll (1989) ressaltam a importância e o cuidado em determinar o tamanho da amostra antes da definição das variáveis. Uma grande quantidade de DMU's pode diminuir a homogeneidade dentro do conjunto analisado, aumentando a possibilidade dos resultados serem afetados por fatores que foram desconsiderados pelo modelo. Por outro lado, se o tamanho da amostra for menor que a quantidade de *inputs* e *outputs*, a análise pode resultar em todas as DMU's serem eficientes.

Alguns autores recomendam que o número de unidades tomadoras de decisão (DMU's) deve ser no mínimo duas vezes o número de *inputs* e *outputs* considerados.

### 4.2.3. Os Modelos DEA

A Análise Envoltória de Dados (DEA) pode ser considerada como um corpo de conceitos e metodologias que está incorporada a uma coleção de modelos, com possibilidades interpretativas diversas (CHARNES, COOPER, LEWIN, SEIFORD, 1997):

1. Modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes; 1978);
2. Modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper; 1984);

O entendimento dos conceitos de eficiência abordados pela metodologia DEA é extremamente importante para esclarecer a diferença entre os modelos CCR e BCC. Segundo Belloni(2000), os conceitos de eficiência são classificados como:

- **Eficiência produtiva:** se refere à habilidade de evitar desperdícios produzindo tantos resultados quanto os recursos utilizados permitem ou utilizando o mínimo de recursos possível para aquela produção. Tradicionalmente, a eficiência produtiva é decomposta em dois componentes: a eficiência de escala e a eficiência técnica.
- **Eficiência de escala** é o componente da eficiência produtiva associado às variações de produtividade decorrentes de mudanças na escala de operação.
- **Eficiência técnica** é o componente da eficiência produtiva que resulta quando são isolados os efeitos da eficiência de escala. A ineficiência técnica está associada à habilidade gerencial dos administradores.

#### 4.2.3.1. Modelo CCR

O modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) é o modelo que se originou da técnica DEA, com base no trabalho de M.J.Farrel, conforme mencionado anteriormente. É um modelo também conhecido como CRS (Constant Returns to Scale) que trabalha com retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nos insumos leva a uma variação proporcional nos produtos. Define-se a eficiência como sendo a razão entre a soma ponderada dos produtos (*output*) e a soma ponderada dos insumos (*inputs*):

**Eficiência =  $\frac{\text{Soma ponderada dos outputs}}{\text{Soma ponderada dos inputs}}$**

O modelo permite que seja atribuído um conjunto de peso (multiplicadores), o que é uma tarefa bastante complicada, particularmente se o mesmo conjunto de pesos é aplicado em todas as DMU's. Ao invés de uma ponderação igual para todas as DMU's, Charnes et al. (1978) definiram que cada DMU, por possuir um sistema de valores particular, teria o poder de definir o seu próprio conjunto de pesos, no sentido de maximizar a eficiência. A única condição é que todas as DMU's tenham uma eficiência inferior ou igual a 1.

A formulação matemática dessas condições é apresentada no modelo básico CCR a seguir:

Minimização de inputs - CCR-I	Maximização de Outputs - CCR-O
$Max\ Eff_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}}$ <p><b>Sujeito a:</b></p> $\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$	$Min\ Eff_0 = \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}$ <p><b>Sujeito a:</b></p> $\frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}} \geq 1, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \quad \forall j, i$

**onde:**

$Eff_0$  – eficiência da DMU<sub>0</sub>;

$u_j, v_i$  – pesos de outputs e inputs respectivamente;

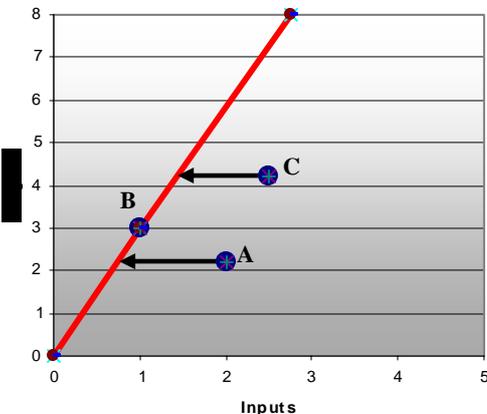
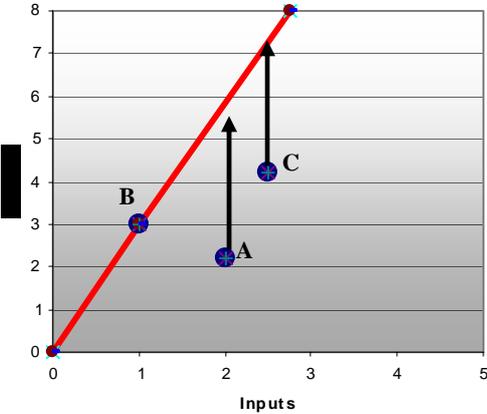
$x_{ik}, y_{jk}$  – inputs i e outputs j da DMU<sub>K</sub>;

$x_{i0}, y_{j0}$  – inputs i e outputs j da DMU<sub>0</sub>;

Este modelo pode ser definido como um problema de programação fracionária e que pode ser transformado em uma programação linear (PPL), onde o denominador da

função objetivo necessariamente precisa ser igual a uma constante, normalmente igual a um.

O modelo CCR pode ser utilizado para maximização de outputs ou minimização de inputs.

Minimização de <i>Inputs</i> - CCR- I	Maximização de <i>Outputs</i> – CCR-O
<p style="text-align: center;"><b><u>Primal (Multiplicadores)</u></b></p> $\text{Max } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0}$ <p><b>Sujeito a:</b></p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i$ <p style="text-align: center;"><b><u>Dual (Envelope)</u></b></p> <p><i>Min</i> <math>\theta</math></p> <p><b>Sujeito a:</b></p> $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$ $\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$	<p style="text-align: center;"><b><u>Primal (Multiplicadores)</u></b></p> $\text{Min } Eff_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0}$ <p><b>Sujeito a:</b></p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i$ <p style="text-align: center;"><b><u>Dual (Envelope)</u></b></p> <p><i>Max</i> <math>\theta</math></p> <p><b>Sujeito a:</b></p> $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, s$ $x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, r$ $\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$
<p style="text-align: center;"><b><u>Representação Gráfica</u></b></p> 	<p style="text-align: center;"><b><u>Representação Gráfica</u></b></p> 

**onde:**  $h_0$  e  $\theta$  – eficiência;

$u_j, v_i$  – pesos de outputs e inputs respectivamente;

$x_{ik}, y_{jk}$  – inputs  $i$  e outputs  $j$  da DMU <sub>$k$</sub> ;

$x_{i0}, y_{j0}$  – inputs  $i$  e outputs  $j$  da DMU 0;

$\lambda_k$  –  $k$ -ésima coordenada da DMU 0 em uma base formada pelas DMU's de referência.

O Modelo de Minimização de inputs, conforme o próprio nome já diz, busca minimizar o consumo de insumos de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado, expresso pela maximização do somatório das quantidades produzidas multiplicada pelos pesos.

A partir do modelo primal é possível desenvolver o dual, conhecido como Modelo Envelope que, pelo teorema da dualidade forte, apresentará o mesmo valor ótimo para a função objetivo, quando esse existir.

O modelo dual busca os valores de  $\lambda_k$  que minimizem  $\Theta$ , sendo  $\lambda_k$  a contribuição da DMU  $k$  na formação do alvo da DMU 0 (as DMUs com  $\lambda_k$  não nulo são os benchmarks da DMU 0).

#### 4.2.3.2. Modelo BCC

O modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984), também conhecido como VRS (Variable Return Scale), pressupõe que as DMU's avaliadas apresentem retornos variáveis de escala. O modelo determina uma fronteira VRS que considera retornos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente. Considera que um acréscimo no input poderá promover um acréscimo no output, não necessariamente proporcional, ou até mesmo um decréscimo.

O modelo BCC surgiu como uma forma de eficiência resultante da divisão do modelo CCR em duas componentes: eficiência técnica e a eficiência de escala.

A medida de eficiência técnica, resultante do modelo BCC, identifica a correta utilização dos recursos à escala de operação da DMU. A eficiência de escala é igual ao quociente da eficiência BCC com a eficiência CCR, e dá uma medida da distância da DMU em análise até uma DMU fictícia, que opera com o tamanho da escala mais produtivo. Abaixo seguem a formulação do modelo e sua representação gráfica.

**Minimização de Inputs – BCC-I****Primal (Envelope)** $Min \theta$ **Sujeito a:**

$$\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i=1, \dots, r$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j=1, \dots, s$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

**Dual (Multiplicadores)**

$$Max h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u_*$$

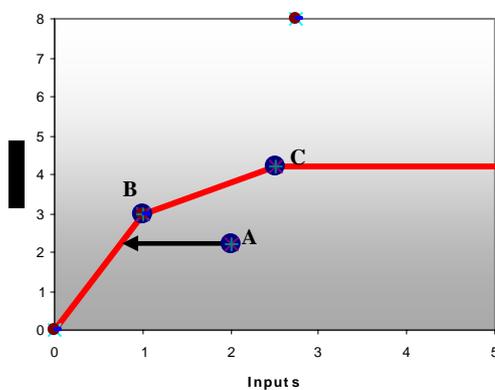
**Sujeito a:**

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - u_* \leq 0, \quad K=1, 2, \dots, n$$

$$u_j e v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

$$u_* \in \mathfrak{R}$$

**Representação Gráfica****Maximização de Outputs – BCC-O****Primal (Envelope)** $Max \theta$ **Sujeito a:**

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i$$

$$-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j$$

$$\sum_k \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

**Dual (Multiplicadores)**

$$Min h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} - u_*$$

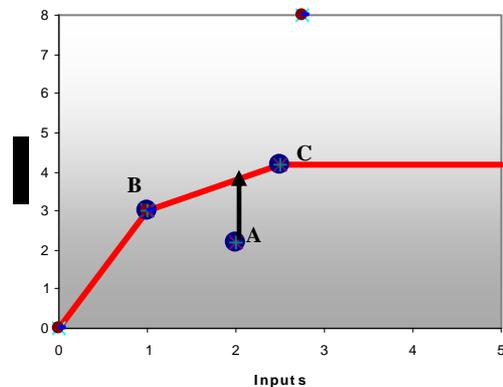
**Sujeito a:**

$$\sum_{i=1}^r u_j y_{jk} = 1$$

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* \leq 0, \quad K=1, 2, \dots, n$$

$$u_j e v_i \geq 0 \quad \forall j, i$$

$$v_* \in \mathfrak{R}$$

**Representação Gráfica**

O que difere os modelos multiplicadores BCC e modelos multiplicadores CCR são as variáveis  $u_*$  para orientação a input e  $v_*$  para orientações a output. Essas duas variáveis são interpretadas como fatores de escala;

- Variáveis positivas significam retornos decrescentes de escala
- Variáveis negativas retornos crescentes de escala
- Variáveis nulas retornos constantes de escala

### **4.3. Proposta de modelo para avaliar a eficiência das empresas de comércio eletrônico**

#### **4.3.1. Objetivo e Limitações**

Em decorrência da competitividade crescente e do avanço tecnológico, as empresas precisam rapidamente tomar decisões extremamente importantes para evitar a perda de clientes para as suas concorrentes. Com um crescimento contínuo de adeptos à Internet, o comércio eletrônico surgiu como uma alternativa rentável para as empresas, mas este desafio requer cautela e conhecimento do negócio. O grande desafio do comércio eletrônico se encontra na atividade de *fulfillment* ou o atendimento ao pedido. O principal gargalo das empresas ainda é processo de distribuição.

Com intuito de avaliar o desempenho da empresa de comércio eletrônico em relação ao ambiente competitivo, e auxiliar os gestores nas futuras mudanças e oportunidades do ambiente, optou-se por utilizar a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA). Esta técnica possibilita avaliar e identificar a(s) empresa(s) brasileira(s) de comércio eletrônico mais eficiente(s), bem como oferecer as empresas subsídios necessários para realizarem diagnósticos de eficiência em suas unidades e em relação a seus concorrentes, em termos do uso de insumos para a obtenção de produtos.

A idéia inicial, a partir do desenvolvimento do modelo DEA, foi elaborar um questionário que deveria ser aplicado nas empresas consideradas eficientes a fim de adquirir informações relevantes, principalmente para tentar entender se o processo de *fullfilment* tinha algum impacto positivo na sua eficiência e comparar com o processo adotado pelas ineficientes. Devido a não aceitação por parte da empresa *benchmark*, a estratégia utilizada foi entender o processo de distribuição da empresa SomLivre.Com e comparar com o processo ideal.

#### **4.3.2. Metodologia aplicada**

Como o objetivo do trabalho foi medir a eficiência das empresas brasileiras de comércio eletrônico em relação a sua escala de capacidade de produção, optou-se pela metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA). Para isso, utilizou-se os dados das

empresas de comércio eletrônico da Revista Exame Maiores e Melhores Empresas dos anos de 2003 e 2004 e o software Frontier Analyst.

Como foi mencionado anteriormente, existem dois modelos básicos da metodologia DEA que são: modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) também conhecido como modelo CRS (Constant Returns to Scale) que trabalha com retornos constantes de escala e o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984), também conhecido como VRS (Variable Return Scale), pressupõe que as DMU's avaliadas apresentem retornos variáveis de escala.

Analisando as opções da metodologia DEA, o modelo mais apropriado para esta análise foi o modelo BCC-O (orientado para maximização dos *outputs*), pois como o objetivo é avaliar a eficiência alcançando os melhores resultados possíveis, não seria viável que os baixos resultados fossem compensados com a diminuição dos *inputs*. Além da escolha do melhor modelo, para que todas as variáveis escolhidas fossem consideradas no cálculo da eficiência foi utilizada a restrição dos pesos.

*Max*  $\theta$

**Sujeito a:**

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i$$

$$-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j$$

$$\sum_k \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

As empresas participantes do processo de avaliação de desempenho foram escolhidas por apresentarem características do processo de atendimento ao cliente similares a SomLivre.Com. São elas:

- **Americanas.Com:** é uma empresa do grupo LAZA, fundada em setembro de 1999 com o objetivo de atender as necessidades de compras on-line dos consumidores. A empresa opera com o site, obtendo 90% do seu faturamento e tele-vendas, com os demais 10%, e oferece aos clientes um mix de produtos como DVDs, CDs, eletrodomésticos e informática. Segundo o diretor de logística da Americanas.Com, Timótheo Barros, em entrevista à Revista

Tecnológica, a empresa trabalha com três modelos de reabastecimento. O estoque próprio conectado diretamente ao fornecedor, onde através do sistema ERP consegue gerenciar todo o processo. O segundo modelo é cross-docking com o fornecedor. Por fim, o terceiro modelo é baseado no acesso on-line ao controle de estoque do centro de distribuição das Lojas Americanas em São Paulo, onde quando uma mercadoria é anunciada no site e não está disponível em estoque, a informação é automaticamente transmitida para o centro da Lojas onde é feito o carregamento.

Quanto ao processo de compra, uma vez aprovado o pedido do cliente, o sistema emite uma etiqueta com código de barras, contendo informações que garante o menor tempo possível para localizar o item. Para garantir a qualidade do serviço, os funcionários possuem um equipamento de leitura de código de barras que dispara um sinal verde e o visor já indica o próximo item a ser coletado. Todas as etapas são monitoradas para evitar erros. Após a coleta, os produtos são depositados em uma esteira, que são agrupados por pedidos e embalados.

Em 2001 a empresa já possuía cerca de 200 mil clientes, sendo que 50% dos clientes realizavam no mínimo duas compras por semestre. Em maio de 2004, a empresa ganhou o Prêmio de Melhor site de comércio eletrônico do Brasil na categoria B2C

A Americanas.Com utiliza o serviços da DHL Express para a entrega de pedidos de alto valor agregado, acima de R\$ 80, nas principais capitais do país. Os veículos da DHL recolhem os produtos duas vezes ao dia nos Centros de Distribuição e levam para a unidade da DHL em que são organizados e mais tarde entregue ao destinatário.

O diretor considera como um grande desafio do e-commerce a garantia que o serviço de pós-venda possa ter a mesma qualidade que o serviço de entrega, ágil e preciso.

- **Submarino.Com** é uma empresa que opera exclusivamente no varejo eletrônico no Brasil. Segundo a Revista Tecnológica (Março 2006), o site em 2005, comparado a 2004, teve um crescimento nas vendas de aproximadamente 192%. O bom desempenho foi atribuído à evolução da base de clientes ativos, um aumento de 48% comparado a 2004 e houve também um aumento de 8% no ticket médio de vendas chegando a R\$ 222,00 em 2005. Para atender as

demandas, a empresa alugava dois centros de distribuição (CD). Segundo o Diretor de Relações em Investimentos, a Submarino.Com não terá mais a partir de 2006 essa despesa, pois será mudado para um CD com capacidade cinco vezes maior que o anterior, permitindo que a empresa aumente o nível de automação e administração do capital de giro. Para agilizar a entrega dos pedidos e aumentar a eficiência operacional, a empresa adquiriu uma solução de separação de pedidos capaz de automatizar a consolidação dos itens. Os itens de diversos pedidos serão separados em lotes. A equipe de separação se movimentará somente uma única vez para retirar toda a quantidade necessária para o conjunto de pedidos. Depois, as mercadorias serão transportadas por uma esteira e uma máquina de alta velocidade agrupará os diferentes itens de um mesmo pedido, encaminhará à área de empacotamento e enviará para a empresa de entrega. O objetivo é melhorar a produtividade, garantir a qualidade no atendimento aos clientes, além da redução no tempo de separação dos itens.

- **Hermes** é uma empresa que opera na venda por catálogo. Como o processo de compra é diversificado (correio, telefone e internet), a empresa enfrenta os mesmos desafios logísticos das empresas do e-commerce. Por este motivo foi incluída na análise de eficiência.
- **Saraiva.Com** é uma empresa que opera também no varejo on-line. Embora o mercado de venda de livros ainda seja o seu negócio principal, a Saraiva continua vendendo CDs, DVDs, mas está diversificando suas atividades como eletroeletrônico, aparelhos de ginásticas e até mesmo eletrodomésticos. Atuando neste novo segmento, a empresa pretende competir com Americanas.Com e Submarino.Com. Há uma expectativa de crescimento muito grande. No que diz respeito ao processo logístico, a empresa possui um Centro de Distribuição para atender a demanda da internet e outro Centro para as operações de cross-docking das lojas. Além do estoque, a empresa conta com o estoque nas lojas e com os fornecedores, entregues através do sistema just-in-time. Quanto à entrega, a Saraiva utiliza serviços terceirizados como a empresas de entregas expressas, Total Express e os Correios.
- **Shoptime** é uma empresa de varejo que opera em dois canais de venda, a internet e televisão. Similar a Hermes, foi incluída na análise por enfrentar os mesmos problemas no processo logístico.

#### 4.4. Determinação dos fatores input e output

As variáveis utilizadas no modelo para medir a eficiência em relação à escala de capacidade de produção foram: número de empregados, crescimento em vendas (%) e vendas (US\$ milhões).

Para avaliar a eficiência das empresas considerou-se os recursos disponíveis (*input*) com os recursos alcançados (*output*). Neste caso, o *input* foi o número de empregados e *output* o crescimento em vendas.

Como o DEA não aceita trabalhar com valores negativos, e a variável crescimento em vendas originalmente possuía valores negativos, para que esta variável fosse utilizada no modelo optou-se por uma translação de eixo, ou seja, para cada valor de crescimento somou-se o valor mais negativo do crescimento mais uma unidade.

O modelo busca analisar a eficiência das empresas no que se refere à capacidade de geração de resultados em relação a sua escala. As variáveis Venda e Crescimento em Vendas representam a capacidade de geração de resultados e a escala é representada pelo Número de Empregados. Para isto está sendo assumida a premissa de que o principal insumo de uma empresa é a sua escala, isto é, empresas com escalas maiores devem produzir resultados maiores do que uma empresa de escala menor.

#### 4.5. Análise dos resultados

Foram analisadas seis empresas, como já visto anteriormente, porém cinco delas tiveram dois anos analisados. Esta estratégia, além de aumentar o número de DMU's, uma vez que cada ano de uma empresa é visto pelo modelo como uma DMU diferente (Charnes et al.; 1995), permite uma análise do comportamento das empresas no tempo.

Abaixo podemos ver os resultados em relação à eficiência das empresas de comércio eletrônico gerados pelo modelo DEA.

**Tabela 6. Score de Eficiência das Empresas de Comércio Eletrônico**

<b>Empresas</b>	<b>Score</b>
Americanas.Com 03	100,00
Americanas.Com 04	100,00
Submarino.Com 04	100,00
Som Livre.Com 03	78,28
Submarino.Com 03	73,94
Som Livre.Com 04	69,24
Saraiva.Com 04	57,15
Hermes 04	53,40
Saraiva.Com 03	50,82
Shoptime 03	45,39
Hermes 03	9,56

Com relação aos resultados obtidos pelo modelo, apenas três das onze DMU's analisadas foram consideradas eficientes, sendo elas: Americanas.Com03, Americanas.Com04 e Submarino04. A SomLivre.Com foi considerada ineficiente em relação aos dois anos que foram analisados.

**Tabela 7. Contribuição das Variáveis para as DMU's Eficientes**

<b>Empresas</b>	<b>Número de Empregados</b>	<b>Vendas</b>	<b>Crescimento Vendas</b>
Americanas.Com 03	79	10	90
Americanas.Com 04	6	28	72
Submarino.Com 04	7	23	77

A Tabela 7 mostra a contribuição de cada uma das variáveis para o cálculo da eficiência das DMU's consideradas eficientes.

Como é possível ver na Tabela 7, existem variáveis que pesaram mais para uma DMU e menos para outra. Este fato se dá porque o modelo DEA acha a solução de um PPL específico para cada uma das DMU's, desta forma é possível que uma variável que teve um peso muito grande para uma DMU tenha peso muito pequeno, ou até nenhum, para outra. Em termos de análise dos resultados das DMU's eficientes este fato gera uma contribuição muito grande, pois permite a identificação de variáveis que poderiam tornar esta unidade ineficiente, uma vez que pesos muito pequenos ou iguais a zero mostram que se estes mesmos pesos fossem "forçados" a serem maiores o resultado final do *score* de eficiência poderia ser menor.

Baseado na explicação acima e nos resultados da Tabela 7, conclui-se que para a Americanas.Com03 o peso atribuído para o Output Venda (10) foi muito menor que o

peso do Output Crescimento em Vendas (90). Isto significa que se o Output Vendas fosse forçado a ter um peso maior poderia tornar a DMU ineficiente, portanto este output é um ponto crítico. No caso das DMU's Americanas.Com 04 e Submarino.Com 04 o ponto crítico foi o input Número de Empregados.

A Tabela 8. mostra a contribuição das variáveis para as DMU's

**Tabela 8. Contribuição das Variáveis para as DMU's Ineficientes**

Empresas	Empregados	Vendas	Crescimento Vendas
Hermes 03	0	90	10
Hermes 04	0	90	10
Saraiva.Com 03	0	90	10
Saraiva.Com 04	0	90	10
Shoptime 03	33	90	10
Som Livre.Com 03	22	10	90
Som Livre.Com 04	25	10	90
Submarino.Com 03	5	20	80

O mesmo comentário pode ser feito em relação aos pesos das unidades ineficientes. No caso da Hermes e Saraiva.Com nos anos de 2003 e 2004, se o número de empregados fosse considerado no cálculo da eficiência, provavelmente estas unidades teriam *scores* ainda mais baixos. Como pode ser visto na Tabela 8, nenhum output teve peso menor que 10%, este fato ocorre porque foi feita uma restrição exigindo que este fosse o peso mínimo de um *output*, portanto as variáveis *outputs* com peso mínimo podem ser consideradas pontos críticos, pois se esta restrição não fosse feita, provavelmente os pesos atribuídos a elas seriam 0. Analisando este fato em relação a SomLivre.Com, por exemplo, pode-se ver que o resultado do Crescimento em Vendas foi mais adequado a sua escala do que o resultados das Vendas.

**Tabela 9. Variação dos níveis de *inputs* e *outputs* para que as DMUs atinjam a eficiência**

<b>Empresas</b>	<b>Input/Output</b>	<b>Observado</b>	<b>Alvo</b>	<b>Variação (%)</b>
Hermes03	Empregados	955,00	189,00	-80,21
	Vendas	89,09	19,03	-78,64
	Crescimento em Vendas	1,00	102,70	10.170,00
Hermes04	Empregados	961,00	403,00	-58,06
	Vendas	94,00	172,64	83,66
	Crescimento em Vendas	35,90	78,92	119,83
Saraiva.Com03	Empregados	1.372,00	403,00	-70,63
	Vendas	102,86	172,64	67,84
	Crescimento em Vendas	17,26	78,92	357,24
Saraiva.Com04	Empregados	1.308,00	403,00	-69,19
	Vendas	103,76	172,64	66,38
	Crescimento em Vendas	31,26	78,92	152,46
Shoptime03	Empregados	260,00	260,00	0,00
	Vendas	69,61	144,14	107,06
	Crescimento em Vendas	21,07	71,51	239,38
Som Livre.Com03	Empregados	189,00	189,00	0,00
	Vendas	19,03	129,98	583,05
	Crescimento em Vendas	102,70	67,83	-33,96
Som Livre.Com04	Empregados	157,00	157,00	0,00
	Vendas	25,44	64,11	152,00
	Crescimento em Vendas	64,06	84,87	32,48
Submarino.Com03	Empregados	335,00	335,00	0,00
	Vendas	91,26	123,43	35,25
	Crescimento em Vendas	63,99	86,55	35,25

Na Tabela 9 pode-se ver qual a meta de *inputs* e *outputs* para que as unidades alcancem a eficiência. Analisando os resultados relativos a SomLivre.Com, pode-se notar que houve progresso nos resultados relativos ao número de funcionários e Vendas de 2003 para 2004, contudo, apesar dos resultados serem melhores nestas, o *score* de 2004 é inferior ao de 2003. Este fato ocorre devido à piora na variável Crescimento em Vendas, que recebe peso muito maior no cálculo da eficiência.

Este modelo explica a eficiência dos resultados em relação à escala da empresa, conforme mencionado anteriormente. Contudo, outros fatores podem contribuir para a

variação, para mais ou para menos, desta eficiência. A partir deste ponto será analisado o fator logístico que pode impactar em uma maior eficiência das empresas. A escolha deste fator se dá devido à importância da logística para o sucesso da empresa. O caso estudado será o SomLivre.Com.