

## **A Eficiência do Transporte Ferroviário de Cargas: Uma Análise do Brasil e dos Estados Unidos**

**Marco Antonio Farah Caldas**

Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São domingos, Niterói

[mafaldas@uol.com.br](mailto:mafaldas@uol.com.br)

**Pedrita Dantas Gabriele**

Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São domingos, Niterói

[pedritadantas@gmail.com](mailto:pedritadantas@gmail.com)

**Raquel Lourenço Carvalho**

Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São domingos, Niterói

[Carvalho\\_r@hotmail.com](mailto:Carvalho_r@hotmail.com)

**Thiago Graça Ramos**

Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São domingos, Niterói

[tgramos@globo.com](mailto:tgramos@globo.com)

### **RESUMO**

Este artigo visa analisar o desempenho operacional do transporte ferroviário de carga de dois países de grandes dimensões geográficas, Estados Unidos e Brasil, utilizando a ferramenta Análise Envoltória de Dados. Neste sentido, pelo fato dos dois países terem grande potencial de utilizar com eficiência a vantagem relativa que este modo de transporte proporciona, a questão que se coloca é: Qual país possui melhor desempenho operacional, tendo em vista as distintas estruturas de mercado de cada um? O resultado da modelagem DEA, utilizando CCR e algumas premissas adotadas no modelo, em conjunto com a revisão da literatura de transporte ferroviário, possibilitou obter a resposta a esta questão.

**PALAVRAS-CHAVES: Ferrovia, transporte de cargas, eficiência**

### **ABSTRACT**

This article aims to analyze the operational performance of rail freight in two large geographical countries, the United States and Brazil, using the tool Data Envelopment Analysis (DEA). In this context, because the two countries have great potential to use efficiently the relative advantage that come from this mode of transport, the question that arises is: Which country has better operating performance, considering the different market structures of each? The result of modeling DEA using CCR and some assumptions made in the model, together with the literature review of rail, allowed to obtain the answer to this question.

**KEYWORDS: Railroad, freight transportation, efficiency**

## 1. Introdução

A indústria ferroviária ocupa um papel importante no mercado de fretes de cargas. Possui como vantagem relativa aos outros meios de transportes o fato de ter a capacidade de transportar uma variedade de produtos e volumes em distâncias longas a um custo menor. Tradicionalmente, esta indústria se encontra na pauta de investimentos de diversos países, pois ela possibilita a integração regional, o escoamento eficiente dos produtos, o transporte com níveis mais baixos de emissão de CO<sub>2</sub> e o maior crescimento econômico.

Segundo Thompson (2010) existe no mundo 900.000 km de linhas férreas, transportando 11,4 bilhões de toneladas (8.845 bilhões de toneladas por quilômetros) e aproximadamente 7,1 milhões de empregados na indústria. Estes números variam de acordo com o crescimento econômico mundial, pois a indústria de transporte é extremamente sensível às condições de mercado as quais os países se encontram.

O Brasil conta, hoje, com uma malha ferroviária de 29.487 km de extensão, distribuída pelas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e parte do Centro-Oeste e Norte do país (LANG, 2007). Sob um regime de concessão à iniciativa privada, mas regulada economicamente pelo Estado, a indústria ferroviária obteve avanços no desempenho operacional e aumento no tráfego ferroviário. Mas, como país continental, onde o transporte de carga de longa distância é mais eficiente, possui um grande potencial para crescer e ser ainda mais produtivo.

Os Estados Unidos, por outro lado, não atua sob o regime de concessão com ação regulatória do Estado, mas sim em uma estrutura de mercado competitiva, com o Estado regulando apenas algumas questões, como a segurança na indústria. Esta abertura do mercado ferroviário possibilitou ao país um crescimento extraordinário desde sua desestatização em 1980.

Este artigo visa analisar os dois países supracitados do ponto de vista operacional, utilizando a ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA). A motivação para analisar o Brasil e os Estados Unidos se fundamentou nos seguintes fatos: i) os dois países serem continentais, possuindo, portanto, grande potencial para o uso do transporte ferroviário como o principal modo de transportar carga; ii) possuem estruturas de mercado distintas com ações regulatórias do Estados em diferente níveis, o que pode ser crucial para graus de desempenho operacional diferentes; iii) ambos os países realizam transporte de granéis, apesar dos Estados Unidos não se limitarem a somente este tipo de carregamento e, por fim, iv) considera-se os Estados Unidos um possível benchmark para o Brasil.

Dadas as motivações expostas, o uso de DEA para analisar a eficiência operacional parte do pressuposto que os Estados Unidos, como um país que se caracteriza com uma estrutura de mercado competitiva na indústria ferroviária, possui um desempenho operacional mais satisfatório que o Brasil, o qual, por sua vez, se caracteriza por um modelo econômico de concessões, em que cada empresa atua basicamente como um monopólio regional.

Esta questão será analisada e respondida ao longo do artigo, que está dividido nas seguintes seções: Seção 2, em que é apresentado um breve histórico dos modelos de mercado do Brasil e dos Estados Unidos. Seção 3, DEA no Transporte Ferroviário, onde está sendo exposta uma revisão da literatura da Análise Envoltória de Dados relacionada ao transporte ferroviário. Em seguida, na Seção 4, são apresentados os conceitos de DEA. Nas seções 5 e 6 são apresentadas variáveis do modelo e a modelagem propriamente dita, com os resultados encontrados. E, por fim, na Seção 7 é realizada a Conclusão com as considerações e justificativas referentes ao resultado do modelo.

## 2. O Mercado Ferroviário de Carga no Brasil e nos Estados Unidos

Segundo McCullough (2007), existem dois aspectos formais relacionados à eficiência econômica:

- Eficiência Produtiva que ocorre quando uma economia não pode produzir mais de um bem ou serviço sem produzir menos de outro.
- Eficiência Alocativa que ocorre quando uma economia não pode aumentar a satisfação de um consumidor sem reduzir a satisfação de outro.

Tendo em vista os dois aspectos formais da eficiência econômica, pode-se dizer que esta deriva da eficiência operacional, ou seja, fatores como alocação de recursos e a tecnologia impactam diretamente na alocação produtiva e alocativa. Por sua vez, as diversas estruturas de mercados influenciam fortemente na alocação de recursos, no investimento em tecnologia e no suprimento da demanda.

Neste contexto, a eficiência no transporte ferroviário se deve em grande parte à estrutura de mercado adotada na indústria. Historicamente, a indústria ferroviária se consolidou com uma estrutura monopolística devido aos aspectos característicos deste tipo de estrutura de mercado. Mas, em função de inúmeras deficiências que levaram ao sucateamento de muitas ferrovias, os modelos de mercados adotados pelos diversos países foram sendo alterados.

Como colocam Nash e Toner (1997),

*Preocupações sobre as características de custos da indústria, com até 80 por cento dos custos de infraestrutura fixos no curto prazo e a presença de indivisibilidades e economias de escala no longo prazo, juntamente com o potencial de exploração do monopólio, levou aos governos a exercerem controles sobre a entrada, saída, preços, tecnologia, práticas operacionais, relações interempresariais e de propriedade, alegando que a competição plena da indústria era tanto indesejável quanto inviável... No entanto, nos últimos anos, tem havido uma crescente insatisfação com a regulamentação tradicional do setor, sobretudo por causa do *marketshare* em declínio e da piora do desempenho financeiro das ferrovias. Tem aumentado o interesse na privatização e desregulamentação como uma solução potencial para estes problemas. Privatização e desregulamentação têm sido vistos como formas de promover a eficiência e inovação, libertando ferrovias do controle do governo e eliminando os subsídios. Ao mesmo tempo, os governos têm se esforçado para reduzir a despesa pública, transferindo o financiamento de investimentos ferroviários para o setor privado.*

O foco deste estudo é analisar a eficiência operacional do Brasil e Estados Unidos (EUA), mas para isso, é necessário entender o contexto econômico estrutural que estes dois países se encontram. Em ambos os países, a indústria ferroviária teve como modelo de mercado inicial o monopólio. Nos EUA o setor ferroviário era caracterizado como propriedade privada exclusiva a um único dono e este modelo se estendeu até 1980, quando o governo observou a real necessidade de desregulamentar o setor que se encontrava em crise, apresentando resultados financeiros precários, sucateamento e a falência de dez grandes empresas na década de 70. Já no Brasil, o modelo monopolista se manteve até 1992, momento em que se deu início à desestatização, já que ao contrário dos EUA, a propriedade ferroviária era do Estado e como os custos fixos desta indústria são muito altos, o governo se viu impotente em mantê-los.

Após a desregulamentação do setor, cada país adotou um tipo de estrutura de mercado. Nos EUA, ocorreu a abertura de mercado e o regulador passou a intervir apenas para resolver disputas ao invés de impor restrições às forças de mercado. A organização da indústria também foi alterada, deixou de ser integrada verticalmente e a gestão das operações foi separada da infraestrutura. Como resultado da desregulamentação do setor, observou-se o fenomenal aumento de produtividade da indústria. Como parte desses notáveis aumentos de produtividade, a desregulamentação permitiu que a indústria se concentrasse em vender parte das linhas sucateadas para as ferrovias de menor extensão; reduziu pessoal, introduziu melhorias tecnológicas; redefiniu seu papel para prestador de serviços, e, tornou sua operação extremamente segura. Em 1997, a indústria se tornou mais competitiva: as tarifas foram reduzidas em 30% e o *marketshare* aumentou 20% desde 1980 (Krohn, 1997).

Em 2006, o setor ferroviário de carga produziu mais de 1,77 trilhões ton-milhas, e gerou uma receita de US\$ 54 bilhões. Sete dos sistemas ferroviários principais são responsáveis por 93% da receita total da indústria, embora a indústria ferroviária seja composta por mais de 550 operadoras. (FRA, 2011). Segundo Posner (2008), a competição entre estas ferrovias se dá correndo em paralelo, competindo de forma imperfeita pelo mesmo mercado, o que permite cada operador obter lucro em determinado nicho.

O Brasil, desestatizou o setor ferroviário adotando o modelo de concessões. De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes, a desestatização da rede ferroviária foi efetivada por meio de leilões públicos, com a finalidade de conceder ao setor privado o direito de

exploração dos serviços públicos de transporte ferroviário de cargas. Os contratos de concessões não exigem investimentos pré-definidos às concessionárias, mas apenas que elas cumpram metas de desempenho como: aumento na produção do serviço e redução do índice de acidentes. Ainda nestes contratos, são estabelecidos que o Poder Concedente tenha como responsabilidades principais a regulamentação, a fiscalização e o acompanhamento da execução dos contratos de concessão e a administração dos bens operacionais vinculados de forma a garantir o equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias.

De modo geral, a privatização do sistema ferroviário foi positiva. Atualmente, o Sistema Ferroviário Brasileiro tem 29.487 km de extensão, distribuído pelas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e parte do Centro-Oeste e Norte do país. Foram concedidas 12 malhas com 28.143 km, equivalente a 95% do sistema (LANG, 2007). Como principais resultados alcançados decorrentes do processo de desestatização, citam-se os ganhos de desempenho operacional nas malhas concedidas, que pode ser comprovado, principalmente, devido ao aumento de produtividade do pessoal, das locomotivas e dos vagões, bem como na redução dos tempos de imobilização, do número de acidentes e dos custos de produção (CNT, 2009).

Entretanto, alguns problemas referentes à regulação surgiram com a implantação do sistema de concessão. A pequena quantidade de empresas presentes nesta indústria, culminando numa situação oligopolista, causa uma série de limitações à concorrência no mercado, como, por exemplo, o poder de mercado exercido por estas empresas. E ainda, observam-se algumas situações de monopólios regionais, que usam seu sistema de ferrovias para carregar exclusivamente o seu produto o que acaba por limitar a atuação de outras empresas concorrentes que necessitam usar seus trilhos.

De uma forma geral, os modelos adotados pelos dois países trouxeram vantagens e desvantagens. O modelo oligopolista no Brasil se apresentou mais eficiente do que o monopolista, mas ainda persistem algumas limitações que vão desde as tarifas diferenciadas para utilização do produto, até contratos em que o usuário dos serviços se compromete a não exportar para países “clientes” da empresa concessionária da linha férrea (Silveira, 2002), o que se caracteriza em um poder de mercado. Nos EUA, o mercado competitivo leva a uma melhora na qualidade dos serviços e nas tarifas, entretanto, há pressão de algumas partes para regulamentar novamente o mercado, pois alguns carregadores argumentam que suas tarifas estão muito baixas, além disso, ocorreram diversas fusões (de 33 ferrovias “Class I” passaram para 7) que podem acarretar abusos de poder de mercado (OECD, 2009).

### 3. DEA no Transporte Ferroviário

O desenvolvimento econômico do país está vinculado ao crescimento de diversos setores como o comércio e a indústria, os quais respondem por grande parte do PIB. Para que este crescimento ocorra, o transporte de carga tem um papel fundamental, por ser este uma das grandes forças que viabiliza as relações comerciais. Neste sentido, por representar um papel tão relevante nas economias, o estudo da eficiência do transporte de carga, e mais especificamente do transporte ferroviário de cargas, é foco de vários autores. No intuito de aprofundar um pouco mais nesta questão foi realizada uma revisão da literatura da eficiência do transporte ferroviário de cargas utilizando a ferramenta Análise Envoltória de Dados. A seguir, serão apresentados alguns dos trabalhos desenvolvidos, sem a pretensão de ser exaustivo.

Himola (2010) utilizou o modelo DEA multi-estágio para analisar a eficiência operacional e financeira do modo ferroviário dos países. O desempenho operacional foi calculado utilizando quatro variáveis de *inputs* - o número de vagões, a quilometragem da malha, o número de locomotivas e o número de funcionários - e duas variáveis de *output* - a tonelada quilômetro útil (tku) e a tonelada útil tracionada (tu). Já a eficiência financeira foi calculada utilizando como variáveis de entrada (*inputs*), as variáveis de *output* da modelagem da eficiência operacional (tku e tu) e como variáveis de saída (*output*): a receita e o montante de frete.

Yua e Linb (2007) utilizaram o modelo MNDEA para analisar a eficiência operacional do transporte de cargas e de passageiros, em conjunto. Foram consideradas como variáveis de entrada: o número de funcionários, o comprimento da malha ferroviária, o número de carros de

passageiros e o número vagões de carga. Os *outputs* considerados foram: passageiros-km e toneladas-km.

Paiva Júnior (2000) utilizaram os métodos clássicos de DEA (CCR, BCC, Aditivo e Multiplicativo) para analisar a eficiência operacional das ferrovias. Para isso, utilizaram como variáveis de *input*: o comprimento da malha ferroviária, o número de locomotivas, o número de vagões, o número de funcionários e o número de carros de passageiros. Já os *outputs* analisados foram: tku, toneladas de carga, passageiros-km e o número de passageiros.

Paixão e Khoury (2008) aplicaram o modelo DEA CCR para analisar a eficiência operacional das ferrovias brasileiras. As variáveis de entrada (*inputs*) utilizadas foram: o número de funcionários, o número de vagões de carga e o número de locomotivas. A variável de saída (*output*) consistiu no indicador tku. Nesta pesquisa, foram considerados somente dados do transporte de cargas, excluindo da análise os dados de transporte de passageiros.

#### 4. Análise Envoltória de Dados – DEA

A Análise de Envoltória de Dados é um método não paramétrico, surgido formalmente com o trabalho de Charnes et al. (1978), com o objetivo de medir a eficiência de unidades tomadoras de decisão, as DMUs, na presença de múltiplos fatores de produção (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*).

As DMUs caracterizam-se por desempenhar tarefas semelhantes, ou seja, utilizam os mesmos insumos e desempenham as mesmas tarefas para produzir um mesmo produto, diferindo nas quantidades de recursos (*inputs*) utilizados e de produtos (*outputs*) gerados; a comparação entre as DMU's gera o conceito de eficiência.

A técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores de eficiência produtiva relativa teve origem no trabalho de Farrell (1957) e foi generalizada por Charnes et al. (1978), no sentido de trabalhar com múltiplos insumos e múltiplos produtos.

A adequação das informações conforme a necessidade dos modelos permite avaliar as eficiências de unidades produtivas em diversas áreas de interesse. Com isso, o tratamento dado a *inputs* e *outputs* deve ser homogêneo e utilizado na hora de se fazer as escolhas (Estellita-Lins e Angulo-Meza, 2000).

Alguns termos como, produtividade, eficiência e unidade tomadora de decisão (DMU) são muito utilizados em DEA e por isso faz-se necessária uma explicação mais detalhada.

A produtividade de uma unidade tomadora de decisão é o quociente entre o valor dos produtos gerados e dos recursos empregados (Coelli et al. 1998). Na forma mais simplificada, onde existe um único recurso e um único produto, a produtividade é a razão entre o *output* e o *input*.

No entanto, em sua grande maioria, o número de variáveis de entrada e de variáveis de saída é superior a 1. Desta forma, faz-se necessário uma adaptação do modelo a uma forma mais genérica, calculando-se a produtividade de cada DMU dividindo uma combinação linear dos produtos por uma combinação linear dos recursos.

Eficiência é a relação entre o que poderia ser produzido e o que efetivamente foi produzido. Diante disso Farrell (1957) sugeriu alguns tratamentos que se revelaram apropriados ao cálculo da eficiência.

Com base em Farrell (1957), surgiu uma forma de tentar mensurar a eficiência produtiva através da Análise Envoltória de dados (DEA). Essa técnica foi desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), escolhendo como unidade balizadora aquela que tiver o melhor desempenho.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) não faz nenhuma suposição funcional para determinar a eficiência da DMU. A DMU eficiente é a que apresenta o melhor desempenho na relação entre seus *inputs* e *outputs*. A maneira como isso é feito pode ser considerada uma medida de excelência, pois, ao utilizar a melhor DMU como referência, faz com que todas as outras unidades sejam comparadas a ela.

Essa abordagem é diferente de outras técnicas, onde uma unidade que tem um desempenho muito superior às outras pode, eventualmente ser eliminada da amostra, por ser considerada *outlier* e, dessa forma, distorcer a aplicação do modelo.

Para o desenvolvimento de um modelo com mais de uma entrada e mais de uma saída, Farrell (1957) apresenta o conceito de eficiência na formulação seguinte:

$$EF = \frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}}$$

onde:

$Y_{jk}$  representa a saída  $j$  da unidade  $k$ ;

$X_{ik}$  é a entrada  $i$  da unidade  $k$ ;

$u_j$  e  $v_i$  representam os pesos de cada saída  $j$  e de cada entrada  $i$  respectivamente. Esses pesos precisam de alguma forma ser determinados.

Há dois modelos DEA clássicos: CCR (de Charnes, Cooper e Rhodes) e BCC (de Banker, Charnes e Cooper). Os modelos DEA-CCR devido a Charnes, Cooper e Rhodes (Charnes et al., 1978) apresentam retornos constantes de escala, enquanto os modelos DEA-BCC de Banker, Charnes e Cooper (Banker et al., 1984) apresentam retornos de escala variáveis. O modelo CCR é também conhecido por CRS (constant returns to scale) e o BCC por VRS (variable returns to scale).

No modelo CCR, admite-se que qualquer mudança nos *inputs* (insumos) gera uma mudança proporcional nos *outputs* (produtos) e vice-versa. Isto faz com que esse modelo seja bastante utilizado para medir a eficiência de linhas de produção, manutenção de equipamento e medição do controle de qualidade.

No modelo BCC, essa proporcionalidade entre as variáveis não existe, fazendo com que esse tipo de modelo seja mais indicado para rankings em competições ou ordenação de preferência.

Nos modelos de DEA, faz-se necessário definir o tipo de orientação que se deseja utilizar, as orientações mais utilizadas são a *outputs* e a *inputs*. Caso o modelo seja orientado a *input*, o objetivo será minimizar a matéria prima, isto é, produzir a mesma quantidade com menos insumos. Por outro lado, a orientação a *output* no modelo é utilizada quando o objetivo é maximizar as saídas, mantendo as entradas inalteradas.

Outro fator que deve ser considerado em modelagem DEA é o uso de pesos. Inicialmente o modelo calcula com total liberdade o peso de cada variável de forma a encontrar DMUs eficientes da melhor maneira possível. Desta forma, é preciso utilizar restrições aos pesos quando as variáveis do estudo não possuem o mesmo grau de relevância em relação ao modelo (Allen et al., 1997). Para maiores informações sobre uso de pesos em modelos DEA, ver Soares de Mello et al. (2008) e Cooper et al. (2009).

Além dos fatores supracitados, pode-se confrontar as DMU's ineficientes com as eficientes, ou seja, estabelecer metas para que as DMU's ineficientes tornem-se eficientes. Essas DMUs eficientes passam a ser os benchmarks. Tais metas apontam os pontos fortes e fracos das DMUs ineficientes, e, mais precisamente, quanto precisam evoluir para atingir os "melhores desempenhos".

#### 4.1 Modelo DEA-CCR orientado a *input*

O Modelo CCR com orientação a *input* trabalha com retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação nos insumos (*inputs*) resulta em uma variação proporcional nos produtos (*outputs*).

Ao invés da utilização de uma ponderação igual para todas as DMUs, o modelo permite a escolha de pesos para cada variável, da forma que lhe seja mais favorável, desde que esses pesos

quando aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior à unidade. A formulação dessas condições é apresentada no problema de otimização abaixo:

$$MaxEffo = \left( \frac{\sum_{i=1}^s u_i y_{io}}{\sum_{j=1}^y v_j x_{jo}} \right)$$

Sujeito a

$$\left( \frac{\sum_{i=1}^s u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^y v_j x_{jk}} \right) \leq 1, k = 1, 2, \dots, n$$

$$u_i, v_j \geq 0, \forall j, i$$

onde:  $Effo$  - eficiência da DMU;  
r - número total de *inputs*  
s - número total de *outputs*  
n - número de DMUs

$u_j$  e  $v_i$  - pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

$y_{io}, x_{jo}$  - *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$

da DMU  $k$ ,  $k = 1, \dots, n$ ;

$y_{io}, x_{jo}$  - *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMU  $o$ .

Esse problema de programação fracionária pode ser transformado em um problema de programação linear (PPL), obrigando o denominador da função objetivo a ser igual a uma constante, normalmente igual à unidade.

#### 4.2 Modelo DEA-CCR orientado a *output*

Quando o modelo é orientado a *output*, o foco está na produção, ou seja, deseja-se produzir o maior número possível de produtos sem alterar a quantidade de matéria-prima.

Neste tipo de orientação, a eficiência da  $o$ -ésima DMU é medida por um critério  $H_o$ , que pode ser derivada da  $Effo$  utilizada quando da orientação a *input*. Na fórmula para o cálculo da eficiência do modelo orientado a *output*,  $Effo$  pode assumir valores superiores à unidade. Por

isso, realiza-se uma inversão, feita pela fórmula  $H_o = \frac{1}{Effo}$ .

O modelo CCR com orientação a *output* é apresentado pela formulação a seguir.

$$MaxEffo = \left( \frac{\sum_{i=1}^y v_i x_{io}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}} \right)$$

sujeito a

$$\frac{\sum_{i=1}^y v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}} \geq 1 \quad k = 1, 2, \dots, n$$

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

A formulação apresentada a seguir representa o modelo DEA CCR orientado a *outputs* depois de linearizado.

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0}$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 1$$

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

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

## 5 Modelo e Variáveis

Para alcançar o objetivo de mensurar a eficiência das concessionárias de transporte de cargas, foi preciso primeiro definir as possíveis variáveis a serem analisadas e relacionar cada uma das empresas que feriam parte da análise. Entre as possíveis variáveis, inicialmente consideradas, contam-se: a extensão total das linhas em km, quantidade transportada em toneladas, números de funcionários que trabalham nas companhias, número de vagões carregados e outras variáveis econômicas.

Ao fazer a escolha das variáveis, é necessário a definição e adaptação das duas realidades, pois o tipo de transporte utilizado nos EUA é bastante próximo ao do Brasil, porém existem diferenças relevantes, que torna necessário delimitar a pesquisa para não se perder a comparabilidade entre as DMUs. Com isso, adotou-se o foco das análises na eficiência operacional e, por isso, as variáveis econômicas foram inicialmente descartadas. Já a variável “número de funcionários” poderia ser analisada pelo valor da folha de pagamento para cada um dos trechos, porém não foi utilizada na pesquisa pela falta de acesso à informações homogêneas. Além das variáveis foi necessária uma adaptação das DMUS, pois no Brasil cada trecho é operado por uma concessionária, enquanto nos EUA, os trechos são divididos por Estados e cada empresa opera em diversos Estados. Assim, foi necessário entender o tipo de produto transportado em cada região. Como no Brasil, a principal carga transportada é de granéis, foi realizado um filtro das DMUs, em que foram considerados apenas os Estados americanos que realizam transporte de granéis, a fim de manter a comparabilidade das DMUs.

## 6 Modelagem e Análise dos resultados

O objetivo inicial era mensurar e verificar a eficiência das companhias e comparar se o sistema americano competitivo seria mais eficiente do que o brasileiro, porém como isso não foi possível então preferiu-se avaliar trechos americanos e não as companhias.

Para fazer esta avaliação e comparação foi escolhido um modelo que considera 3 variáveis:

- Extensão da linha em quilômetros - *Input*;
- Número de funcionários utilizados para operar o trecho - *Input*;
- Quantidade de carga transportada no trecho (em toneladas) - *Output*;

Vale ressaltar que foram consideradas diversas variáveis para o modelo, porém algumas foram descartadas, pois não havia informações fidedignas ou então seria necessário conversões ou transformações para que as mesmas se tornassem comparáveis entre os países.

Após a definição das variáveis a serem utilizadas, foi necessário decidir qual dos modelos DEA seria mais adequado ao nosso estudo. Diante do tipo de variáveis que seriam trabalhadas foi escolhido o modelo CCR com orientação a output, pois tem retornos constantes de escala e se observarmos as variáveis escolhidas, fica claro que com um aumento na extensão ou no número de funcionários é esperado que existisse um aumento na quantidade de carga transportada. Isso se deve porque uma maior extensão de linha abrange uma maior área de atuação e com isso uma demanda maior e um número maior de funcionários faz com que a empresa tenha uma capacidade de carregar mais. A orientação se justifica, pois se espera que se carregue muito mais carga com um menor uso de recursos. Na tabela 6.1 estão apresentados as 8 empresas brasileiras escolhidas e os 21 trechos americanos e os valores de cada uma das variáveis.

Tabela 6.1 – DMU`s e os valores de cada variável

DMU`s	Extensão da linha (km)	Funcionários	Total de carga transportada (ton)
1-ALLMS	7304	2669	26072900
2-ALLMP	1989	623	4916700
3-ALLMN	500	766	10071700
4-ALLMO	1945	499	2778300
5-Ferrovias Centro-Atlântica	8066	2985	17454900
6-Estrada de Ferro Vitória Minas	905	3807	73842700
7-MRS	1674	3671	110915400
8-Estrada de Ferro Carajás	892	2189	96267100
9-California	8537,33	8968	52075000
10-New Mexico	2956,28	1569	12138000
11-Nevada	1918,28	669	1880000
12-Utah	2185,42	1798	16602000
13-Colorado	4319,36	2734	27256000
14-Wyoming	2993,29	2655	473603000
15-Montana	5106,3	2560	44204000
16-Texas	16744,56	15691	82428000
17-Oklahoma	5270,45	1772	16917000
18-Kansas	7869,47	5089	22625000
19-Nebraska	5173,89	11282	29974000
20-South Dakota	2801,79	660	16526000
21-North Dakota	592,54	1656	31089000
22-Minnesota	7286,91	4222	67382000
23-Indiana	7201,61	5427	41863448
24-Kentucky	4116,58	4182	76773000

25-Ohio	8506,75	7261	50287000
26-West Virginia	3590	2822	99014722
27-Virginia	5169	5247	34553000
28-Pennsylvania	8003	6490	48850000
29-Alaska	814,3	379	6551000

Fonte: <http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/index.asp> e <http://www.aar.org/KeyIssues/Railroads-States.aspx>

Já na tabela 6.2 serão apresentados 2 modelos, o primeiro onde não existem restrição aos pesos e um segundo onde considera-se que a variáveis extensão do trecho deve ser mais importante do que o número de funcionários, pois em transporte de carga uma maior abrangência ou área de atuação é mais importante do ponto de vista operacional do que o número de funcionários.

Tabela 6.2 – Eficiência de cada DMU nos 2 modelos

DMU	Sem Restrição aos pesos	Com restrição aos pesos	DMU	Sem Restrição aos pesos	Com restrição aos pesos
1	0.0548	0.0312	16	0.2111	0.2111
2	0.0442	0.0224	17	0.2335	0.2086
3	0.1273	0.1273	18	0.2049	0.2008
4	0.0312	0.0136	19	0.2166	0.2166
5	0.0328	0.0188	20	0.3204	0.2369
6	0.5157	0.5157	21	0.5116	0.5116
7	0.4188	0.4188	22	0.2695	0.2498
8	0.6821	0.6821	23	0.2232	0.2195
9	0.2186	0.2186	24	0.2979	0.2979
10	0.2234	0.2120	25	0.2188	0.2180
11	0.1958	0.1887	26	0.3767	0.3642
12	0.2318	0.2297	27	0.2222	0.2222
13	0.2359	0.2261	28	0.2222	0.2202
14	1.0000	1.0000	29	0.2769	0.2455
15	0.2768	0.2488			

Ao observar a tabela 6.2 percebe-se que a DMU 14, que é referente ao trecho dentro do estado Wyoming sendo o único eficiente, isto porque a quantidade de carga transportada neste é muito superior as demais DMUS, tanto que apenas 3 outras ultrapassam uma eficiência além de 0.5. A segunda DMU mais eficiente é a Estrada de Ferro de Carajás que tem uma pequena extensão e faz o transporte bastante grande de carga, em função de ser a estrada de Ferro que escoar toda a produção da mina de Carajás.

O objetivo do estudo era entender se os trechos americanos seriam mais eficientes do que os brasileiros e para isso a melhor forma seria calcular uma média das DMUs de cada país. Na tabelas 6.3 será apresentada a media das DMU's.

Tabela 6.3 – Média das DMU's de cada país

	Sem Restrição aos pesos	Com restrição aos pesos
Brasil	0.2384	0.2287
Estados Unidos	0.2947	0.2832

Avaliando a tabela 6.3 pode-se perceber que os trechos americanos são um pouco mais eficientes do que os Brasileiros, e isto porque 3 trechos Brasileiros são bastante eficientes e elevam esta média, os trechos são Estrada de Ferro Vitória Minas, MRS e Estrada de Ferro Carajás. Das 3 DMU's a MRS é a segunda que mais transporta carga, ficando atrás apenas de Wyoming, enquanto que as outras 2 possuem uma extensão de linha bem abaixo, o que as torna bastante eficiente.

## 7 Conclusão

O foco deste estudo foi analisar a eficiência operacional das empresas ferroviárias que possuem trechos no Brasil e Estados Unidos e com isso foi necessário entender o contexto econômico estrutural que estes dois países se encontram e qual o modelo empregado em cada um deles. Percebeu-se que nos EUA, existe um modelo onde existe concorrência entre as empresas que operam no trecho, enquanto que no Brasil o trecho é repassado e totalmente operado por uma única empresa, que passa a ter o monopólio regional.

Diante disso foi analisada a eficiência operacional das empresas individualmente e percebemos que as empresas mais eficientes brasileiras são as que têm vínculo com a VALE, que é uma das grandes empresas de minério do mundo e faz o transporte da sua própria carga e por isso transporta uma grande quantidade de carga.

Já nos EUA o trecho com maior eficiência é o de Wyoming. Este resultado se deve a delimitação do estudo, em que foi avaliado apenas carregamento de *commodities* em granéis e, neste contexto, segundo Federal Railroad Administration, com a abertura da Bacia de Powder River em Wyoming no final da década de 1970, os carregamentos de carvão com baixo teor de enxofre têm crescido dramaticamente dado o objetivo de ajudar as empresas norte-americanas de energia elétrica a atingir os padrões de Ar Limpo impostos. Assim, os maiores movimentos ferroviários de carvão são da Bacia de Powder River para a geração de plantas em Illinois e Texas.

Quando se compara a eficiência dos trechos americanos com os brasileiros, a média das eficiências é muito próxima, porém os trechos americanos são mais eficientes, talvez por conta do modelo competitivo, onde diversas empresas operam e com isso um maior volume de carga também é transportado.

## 8 Referências Bibliográficas

- Allen, R.; Athanassopoulos, A.; Dyson, R. G.; Thanassoulis, E.** Weights restrictions and value judgments in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, 1997, n. 73, pp. 13-34.
- Angulo-Meza, L.** Data Envelopment Analysis (DEA) na Determinação da Eficiência dos Programas de Pós-Graduação do COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1998.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes** (2011). Transporte de Cargas. (<http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp>).
- Banker, R. D.; Charnes, A.; Cooper, W. W.** Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30 (9), p.1078-1092, 1984.
- Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E.** Measuring the Efficiency of Decision-Making Units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444, 1978.
- Coelli, T.; Prasada Rao, D. S.; Battese, G. E.** An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1998.
- Cooper, W.W.a , Ruiz, J.L.b , Sirvent, I.b** Selecting non-zero weights to evaluate effectiveness of basketball players with DEA (2009) *European Journal of Operational Research*, 195 (2), pp. 563-574.
- CNT - Confederação Nacional do Transporte** (2009). Pesquisa CNT de Ferrovias 2009. ([http://www.sistamacnt.org.br/pesquisacntferrovias/2009/arquivos/pdf/pesquisa\\_ferrovias\\_2009.pdf](http://www.sistamacnt.org.br/pesquisacntferrovias/2009/arquivos/pdf/pesquisa_ferrovias_2009.pdf)).
- Farrell, M. J.** The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of Royal Statistical Society Series A*, v.120 (3), p. 253-281, 1957.

- FRA - Federal Railroad Administration (2011).** Freight Railroad. (<http://www.fra.dot.gov/Pages/4.shtml>).
- Himola, O.** (2010). Building efficiency from bottom-up? Analysing global railway freight. *Int. J. Logistics Economics and Globalisation*, vol. 2, n. 2.
- Krohn, T. (1997).** The Railroad Industry in The United States Of America. OECD.
- Lang, A. E.** (2007). As Ferrovias no Brasil e a Avaliação Econômica de Projetos: Uma Aplicação em Projetos Ferroviários. Dissertação de Mestrado em Transportes, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Li, Y.a , Liang, L.a , Chen, Y.b , Morita, H.c** Models for measuring and benchmarking olympics achievements (2008) *Omega*, 36 (6), pp. 933-940. Cited 3 times.
- Lins, M. P. E.; Ângulo-Meza, L.** Análise Envolvória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão. Rio de Janeiro: Editora da COPPE/UFRJ. 2000.
- McCullough, G.J.** (2007). US Railroad Efficiency: A Brief Economic Overview. *Transportation Research Board.* (<http://trid.trb.org/view.aspx?id=806189>).
- Nash, C.A. & Toner J.P.** (1997). Railways: Structure, Regulation and Competition Policy. OECD.
- OCDE** (2009). Liberalization and Commercialization of the World's Railways: Progress and Key Regulatory Issues.
- Paiva Júnior, H.** (2000). Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/ AHP. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.
- Paixão, R. B. & Khoury C. Y.** (2008). Eficiência no Transporte Ferroviário de Cargas Brasileiro: um Estudo com a Análise Envolvória de Dados. XXXII Encontro da ANPAD.
- Posner, H.** (2008). Rail Freight in the USA: Lessons for Continental Europe. *Community of European Railway and Infrastructure Companies, Essays Series.*
- Silveira, M. R.** (2002). Transporte e logística: as ferrovias no Brasil. *Geosul, Florianópolis*, v.17, n.34, 63-86.
- Soares de Mello, J.C.C.B.S., Gomes, E.G.b , Meza, L.A.c , Neto, L.B.d.** Cross evaluation using weight restrictions in unitary input DEA models: Theoretical aspects and application to Olympic Games ranking (2008) *WSEAS Transactions on Systems*, 7 (1), pp. 31-39.
- Thompson, L.** (2010). A Vision for Railway in 2050. *International Transport Forum, OCDE, Forum Papers 4.*
- Yua, M. & Lin E. T. J.** (2007). Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model. *The International Journal of Management Science.* 1005 – 1017.
- Wu, J.a , Liang, L.a , Yang, F.a b** Achievement and benchmarking of countries at the Summer Olympics using cross efficiency evaluation method (2009) *European Journal of Operational Research*, 197 (2), pp. 722-730.