

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE DOS TRENS URBANOS NO NORDESTE DO BRASIL

Alice Paraguassu Fonseca de Macedo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal – RN
aliceparaguassu@gmail.com

Marianna Cruz Campos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal – RN
mariannaccampos@gmail.com

Wallace Giovanni Rodrigues do Valle

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal – RN
wallacegrv@gmail.com

Mariana Rodrigues de Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Av. Sen. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970, Brasil
almeidamariana@yahoo.com

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência dos transportes urbanos em quatro cidades do Nordeste do Brasil no período de 2006 a 2013. Com o uso da técnica Análise Envoltória de Dados (DEA), verificou-se a interação entre as variáveis de entrada (custo total e número de funcionários) e as variáveis de saída (receita total e número de passageiros/extensão da via). O modelo adotado foi o CCR com a orientação para *input*. Além disso, avaliou-se a produtividade das DMUs mediante o uso do DEA *Malmquist* e comparou-se o ranking de eficiência com os índices de desempenho: regularidade, pontualidade e segurança. O resultado dessa análise aponta as variáveis que mais corroboram para a ineficiência, o que influencia a queda e/ou aumento da produtividade nas DMUs analisadas e as estratégias para melhor tomada de decisão.

Palavras-Chaves: Análise envoltória de dados, Eficiência em transportes de trens urbanos, Índice de *Malmquist*, índices de desempenho.

This study aims to evaluate the efficiency of urban railway transport in four cities set in northeastern of Brazil from 2006 to 2013. Using data envelopment analysis (DEA), we evaluated the interaction between the *input* variables (total cost and number of employees) and *output* variables (total revenue and number of passengers / extension of the route). Using CCR model and *input* guidance. In addition, we evaluated the productivity of DMUs (Decision making units) by using the Malmquist DEA and compared the ranking of efficiency with performance index: regularity, punctuality and safety. The result of this analysis indicates the variables that most corroborate to inefficiency, which influences the fall and / or increased productivity in the analyzed DMUs and how they performance index behave in efficiency scale, and strategies to assist in the management decision making.

Key-words: Data envelopment analysis, Efficiency in urban rail transport, Malmquist index, Performance index.

1. Introdução

O sistema de transporte metroviário e ferroviário apresenta-se como uma alternativa econômica e sustentável nos países desenvolvidos. Estudos comprovam o uso eficiente desse modal não só no transporte de passageiros como também de cargas diversas (ABATEA *et al.*, 2013; NOROOZZADEHA; SADJADIB, 2013). O transporte ferroviário brasileiro ainda é pequeno e concentrado em algumas regiões e cargas. Segundo o relatório do IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2009) não houve ao longo dos anos construções que visassem um crescimento na malha ferroviária e metroviária do país. Contudo, investimentos oriundos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2) visam mudar o panorama deste transporte no Brasil. No nordeste, essa visão é ainda mais reduzida, tendo em vista problemas de infraestrutura.

O transporte ferroviário é responsável por movimentar diversos tipos de cargas, principalmente no interior do Brasil. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (2013), no período de 2006 a 2012, o transporte ferroviário de cargas no Brasil experimentou um significativo incremento de 26% (ou 4,4% ao ano, em TKU), o que mostra a importância da expansão desse modal para a economia brasileira. No entanto, analisando 11º Balanço do PAC (que compreende o período 2011-2014), para os estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Alagoas, observa-se que não houve grandes investimentos no sentido de expansão das ferrovias. Dos citados, apenas Pernambuco recebeu esse tipo de investimento, com um valor superior a R\$ 2,5 milhões.

Assim, durante o período supracitado, ainda é possível observar que os maiores investimentos em projetos de construção e/ou expansão de ferrovias não pertencem ao nordeste brasileiro. Fatos como esse demonstram quanto o transporte ferroviário é deixado de lado na região, apesar do seu incrível potencial econômico. Nesse contexto, surge a necessidade de verificar como se dá o desempenho desse tipo de transporte na região nordeste, analisando melhor a sua eficiência e relacionando-a ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

Para isso, o presente estudo fará uso da Análise Envoltória de Dados (DEA), um método não paramétrico capaz de integrar diferentes variáveis de escala e identificar as unidades de negócio (DMUs) mais eficientes por meio da combinação de variáveis de entrada (*inputs*) e saídas (*output*) de um processo na avaliação do transporte ferroviário. Segundo Soares de Mello *et al.* (2005), DEA foi desenvolvida justamente para determinar a eficiência em situações onde não se deseja considerar somente o aspecto financeiro, como no caso deste trabalho. Ainda segundo os autores, essas situações não exigem que os insumos e produtos sejam traduzidos em unidades monetárias, bem como sua atualização para valores presentes.

A aplicação do método Análise Envoltória de Dados tem o intuito de avaliar a eficiência dos transportes ferroviários urbanos das cidades de Natal, Recife, João Pessoa e Maceió de 2006 a 2013 levando em conta as variáveis Custos Total e Número de empregados como *input*; Receita operacional e Passageiros por km como *output*. O modelo de análise é o DEA e a orientação é para os insumos. Pretende-se também avaliar a produtividade dos anos analisados e comparar os valores com os índices de regularidade, pontualidade e segurança. Com isso, pretende-se identificar as causas das DMUs ineficientes apresentadas pelo modelo e auxiliar os gestores a planejar e tomar decisões que visem o fluxo eficiente de recursos e passageiros.

2. Análise Envoltória de Dados: Conceitos e Aplicações no modal ferroviário/metroviário

Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método não-paramétrico que pode mensurar a eficiência relativa. O objetivo do DEA é fornecer um método para a identificação das unidades com as melhores práticas de um conjunto comparável de unidades tomadoras de decisões (DMU – *Decision Making Units*), formando uma fronteira de eficiência, possibilitando a aferição de metas de referência (metas de benchmarking) para as unidades ineficientes (COOK; SEIFORD, 2009), sendo possível aplicar em diversas áreas do conhecimento (LIU *et al.*, 2013).

Análise Envoltória de Dados foi aplicada na área de transportes para examinar a eficácia de um número de opções. Diversos estudos têm utilizado a abordagem para analisar a eficiência dos serviços de transportes (CAULFIELD; BAILEY; MULLARKEY, 2013). Abate et al. (2013) destacam que o DEA tem várias vantagens sobre outras metodologias paramétricas, como Análise de Fronteira Estocástica. A metodologia é a preferida para setores regulados, como o transporte ferroviário, cuja minimização de custos ou maximização do lucro pode não ser um objetivo primordial. Além disso, a técnica também é vantajosa quando se trata de sistemas que possuem múltiplas entradas e saídas (WEY, 2015).

O aumento da qualidade dos serviços de transporte de carga e passageiros está relacionado à verificação de forças e fraquezas e também à otimização dos recursos atuais (RAYENI; SALJOOGHI, 2014). Os autores analisaram a eficiência e desempenho nas estradas de ferro, comparando diferentes anos por meio do DEA. Os *inputs* considerados foram: número médio de vagões de carga, número médio de vagões de passageiros, média de locomotivas em serviço, extensão da linha em quilômetros, número de pessoal e, por fim, despesa total e orçamento de construção. Com relação aos *outputs*, foram utilizados: a carga transportada em toneladas por quilômetro, passageiros transportados por quilômetro e receita total. Foi adotado o modelo CCR, com orientação para *input*.

De posse da análise de benchmarking, tem se demonstrado ao longo dos anos uma ferramenta muito útil para mensurar os impactos de custos transacionais, na eficiência de uma rede. Merket, Smith e Nash (2009) observaram que estes custos são mais importantes para a determinação da eficiência, do que fatores institucionais e a abertura da concorrência. Entretanto, observaram a importância de uma análise longitudinal para uma perspectiva mais detalhada.

Caulfield, Bailey e Mullarkey (2013) também realizaram uma análise de benchmarking com os modelos CCR e BCC para investigar e identificar a solução de transporte para a rota centro-aeroporto na cidade de Dublin, Irlanda. Para isso, foi utilizado como *input* o custo total de implementação do sistema de transporte. Já com orientação *output*, considerou-se o tempo total economizado por viagem, número de pessoas que utilizavam cada transporte alternativo e a redução de viagens de carro.

A compreensão do sistema como uma “caixa preta”, segundo Yu e Lin (2008) e Yu (2008), não expõe com profundidade as fontes de ineficiência e orientação específica para os gestores quando os sistemas possuem dois focos diferentes: transporte de cargas e passageiros. Por estas razões, as referidas pesquisas compararam o desempenho das unidades pelo método clássico e também pelo método de DEA em Redes (*NDEA – Network Data Envelopment Analysis*). O seu uso justifica-se pela estratificação dos focos de atuação: passageiros e cargas, assim o diagnóstico de ineficiência torna-se mais preciso.

Abate et al. (2013) fizeram uso da Análise Envoltória de Dados e do Índice *Malmquist* para avaliar a relação entre confiabilidade e produtividade nos serviços ferroviários de passageiros. O estudo foi aplicado em sete sistemas ferroviários europeus e usou o total anual de passageiros por quilômetro como indicador de saída, além da média anual de pessoal, total de material circulante (locomotivas e carros) e infraestrutura (comprimento da via) como entradas. O modelo escolhido foi o BCC. Na análise do índice de *Malmquist*, foi considerada a pontualidade diretamente no cálculo do índice. Segundo Abate et al. (2013), a análise dos índices de *Malmquist* permite ao pesquisador uma decomposição das mudanças de eficiência nos componentes. Qing e Kun (2012) também avaliaram a eficiência de ferrovias na china utilizando o DEA *Malmquist* utilizando o modelo CCR e a orientação para *input*.

Nash et al. (2009) calcularam a eficiência das ferrovias europeias utilizando o modelo CCR com a orientação para *input*. O modelo propôs analisar quais as DMUs mais eficientes e dentre elas qual a variável que mais significativa para essa eficiência. Para isso, foi utilizada a regressão Tobit. Outros trabalhos envolvendo o método DEA clássico orientado para *input* visava analisar as ferrovias na Europa utilizando variáveis como custos operacionais e número de empregados (GROWITSCH; WETZEL, 2007; CANTOS et al, 2010)

A eficiência em ferrovias não é associada a causas exógenas e incontroláveis, ou fenômenos endógenos e controláveis pelos gerentes. Nessa perspectiva, as ferrovias japonesas foram analisadas com DEA em seu modelo com folgas e a fronteira estocástica, com o objetivo

de definir mais objetivamente as principais causas de eficiência/ineficiência. Na abordagem japonesa foi imprescindível para a determinação dos subsídios, em razão das disparidades regionais (JITSUZUMI; NAKAMURA, 2010).

Em comparação com o DEA clássico, o Fuzzy-DEA dinâmico demonstrou-se uma técnica mais discriminatória. Sua estrutura multi-objetivo permite o ajuste do tomador de decisão ao longo do tempo (JAFARIAN-MOGHADDAM; GHOSEIRI, 2011). O uso do Processo Analítico Hierárquico (AHP) foi observado por Mohajeri e Amin (2010) com o objetivo de identificar a melhor local para ferrovias no Irã. O AHP identificou 4 critérios principais: conexão da rede, serviços para passageiros, arquitetura e urbanismo, e economia. A combinação das técnicas mostrou-se bastante aplicável, visto que a adição ou retirada de alternativas não gera resultados diferentes no efeito comparativo das alternativas potenciais.

Azadeh, Ghaderi e Izadbakhsh (2008) utilizaram simulação integrada, análise multivariada e análise de múltipla decisão para otimizar o tempo médio de deslocamento do trem de passageiros e de carga de um dado sistema ferroviário. O modelo de simulação fez uso do Processo Analítico Hierárquico para determinar o peso dos critérios qualitativos (de entradas ou saídas), enquanto a Análise Envoltória de Dados foi utilizada para solucionar o modelo multi-objetivo e identificar a melhor alternativa.

3. Método de Pesquisa

Baseados nos princípios de Farrel (1957), Charnes, *et al.* (1978) desenvolveram o método para análise da eficiência das unidades produtivas mediante múltiplos *inputs* e *outputs* em ambientes complexos. O enfoque é não paramétrico, uma vez que o ajuste da fronteira é realizado por partes por meio de programação linear, em que verifica-se o máximo produzido observando às unidades mais eficientes. Esta nova formulação foi designada como Análise Envoltória de Dados. As unidades produtivas correspondem às DMUs (*Decision Making Units*), ou seja, as unidades tomadoras de decisão. Estas assumem diversas formas, com apenas medidas ordinais e compartilham *inputs* e *outputs* comuns.

Os modelos permitem a identificação de DMUs eficientes e a localização da ineficiência, para assim, fornecer o benchmark (DMU eficiente) para as DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A projeção geométrica é responsável pela orientação do modelo: orientação a *inputs* (minimizar *inputs* com *outputs* constantes) ou a *outputs* (maximizar resultados com a alocação dos mesmos recursos).

O primeiro modelo foi denominado de retornos constantes a escala (CRS – *Constant Returns to Scale*), em que qualquer variação nas entradas possui variação proporcional nos *outputs*. A evolução do CCR foi para modelo com retornos de escala variáveis VRS (*Variable Returns to Scale*) ou BCC. O modelo estima a eficiência técnica pura e expõe que os *outputs* não variam necessariamente proporcionais aos *inputs*, os ganhos são crescentes (*outputs* crescem além da proporção), constantes (crescimento proporcional) e decrescentes (*outputs* proporcionalmente menos que as saídas) (ALMEIDA, 2010).

A escolha da orientação e do modelo dar-se-á mediante a o controle dos parâmetros a serem analisados. O modelo de produção utilizado no trabalho é o CCR (Equação 1) com orientação aos *inputs*. Visto que, a análise do comportamento das DMUs ocorre no longo prazo, o que implica fatores de produção mais ajustados. Além disso, as DMUs pertencem a uma mesma organização com escala da atuação ao nível nordeste bastante compatível. Perelman e Coeli (1999) investigaram as causas da ineficiência técnica em ferrovias europeias utilizando o DEA e os mínimos quadrados corrigidos. A justificativa da orientação (*input*) e do modelo (CCR) dar-se-á pelas variáveis serem determinadas e passíveis de controle por fatores exógenos e endógenos. As empresas devem fornecer a quantidade necessária de serviço tendo em vista o cenário demográfico e macroeconômico. Conseqüentemente, o volume de trabalho é controlado por classes sindicais e as despesas por questões políticas e econômicas. Com isso, as empresas passam a ter mais controle sobre seus *outputs* ajustando seus *inputs*.

$$\begin{aligned} & \text{Sujeito a} \\ & \theta - \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \geq 0, \forall j \\ & - \theta + \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0, \forall j \\ & \theta \geq 0, \forall \end{aligned}$$

A utilização apenas da Análise Envoltória de Dados pode comprometer os resultados, visto que a técnica ignora a dinâmica de mercado, segundo a qual as unidades organizacionais podem ser eficientes para alguns períodos no tempo e ineficientes para outros (CHEN; IQBAL ALI, 2004). O uso do DEA-*Malmquist* fornece resultados mais precisos (CAMANHO; DYSON, 2006; GROSSKOPF, 2003; GUAN et al., 2006), considerando a realidade das unidades pesquisadas e se mostrou ser uma ótima ferramenta para medir a mudança de produtividade das DMUs. O índice de *Malmquist* é definido em termos da razão entre funções distância (MALMQUIST, 1953), conforme a Expressão 02.

(Equação 2)

$$f = \frac{\hat{\theta} \quad \acute{\theta}}{\hat{\theta} \quad \acute{\theta}} \quad \frac{2}{1}$$

O índice de *Malmquist* se caracteriza por ter a capacidade de medir a mudança, em termos de produtividade total dos fatores, entre diferentes períodos e decompor esse índice em eficiência técnica e mudança de tecnologia, ou seja, uma diferença de eficiência entre as DMUs e outra medindo a distância entre fronteiras de melhores práticas (CAMANHO; DYSON, 2006; CAVES; CHRISTENSEN; DIEWERT, 1982; SUEYOSHI; AOKI, 2001).

(3)

O índice *Malmquist* pode resultar em três análises distintas: (i) resultado maior que 1 – observa-se crescimento ou evolução de produtividade entre os período 0 e t; (ii) resultado menor que 1 – houve uma queda de produtividade entre os períodos analisados e; (iii) igual a 1 – significa que a produtividade manteve-se inalterada (LIU; WANG, 2008), conforme a Expressão 03.

$$= \left(\sqrt{\frac{\rho(\cdot, \cdot) \quad \rho(\cdot^0, \cdot^0)}{(\cdot, \cdot) \quad (\cdot^0, \cdot^0)}} \right) \cdot \left(\frac{(\cdot, \cdot)}{\rho(\cdot^0, \cdot^0)} \right) = \cdot$$

Em que:

IM = Índice *Malmquist*; ρ_0 = Função distância relativa à fronteira do período 0; ρ_t = Função distância relativa à fronteira do t; θ^0 = Quantidade do *output* virtual da DMU em análise no período 0; θ^t = Quantidade do *inputs* virtual da DMU em análise no período 0; λ^0 = Quantidade do *output* virtual da DMU em análise período no período t; λ^t = Quantidade do *inputs* virtual da DMU em análise no período t; $\rho(\cdot^0, \cdot^0)$ = Distância da DMU no período 0 relativa à fronteira do período 0; $\rho(\cdot, \cdot)$ = Distância da DMU no período t relativa à fronteira do período 0; (\cdot^0, \cdot^0) = Distância da DMU no período 0 relativa à fronteira do período t; (\cdot, \cdot) = Distância da DMU no período t relativa à fronteira do período t; AT= Alterações Tecnológicas de uma DMU entre os períodos 0 e t; e, AE= Alterações de Eficiência de uma DMU entre os períodos 0 e t.

Para Tone (2004) e Ferreira e Gomes (2009), o Índice de *Malmquist* relativiza a variação da produtividade em dois aspectos: i) AT = alteração da eficiência tecnológica (*frontier shift*), uma alteração da tecnologia disponível que contribui para a mudança na produtividade da

DMU ou ii) AE = variância técnica ou efeito emparelhamento (*catch-up*), na qual dada uma tecnologia disponível, a DMU utiliza da melhor forma possível os seus insumos na geração do produto, aproximando-se da fronteira de eficiência. Logo, esse é o procedimento mais adequado para, de maneira direta, identificar se as mudanças no desenvolvimento de um ambiente foram relativas à mudança tecnológica ou à produtividade total dos fatores de produção. No caso analisado, observar a mudança técnica decorrente dos maiores investimentos com o PAC, e a alteração tecnológica para deslocamento da fronteira quanto às mudanças nas práticas de gestão.

Sendo assim, o referido estudo possui a natureza de Pesquisa Aplicada, tendo em vista que almeja a utilização prática de seus resultados; quanto ao objetivo como Pesquisa Exploratória, por visar maior familiaridade com o tema; quanto a abordagem como Pesquisa Combinada, tendo em vista que se utilizada de métodos tanto Qualitativo e Quantitativo. A partir da delimitação do objeto de estudo, o presente projeto apresenta as seguintes fases da pesquisa: (a) revisão bibliográfica; (b) estudo exploratório; (c) estudo descritivo; e, (d) análise dos dados.

Em suma, a pesquisa bibliográfica é utilizada neste trabalho para: (a) encontrar referencial teórico sobre análise de eficiência no modal ferroviário/metroviário; e, (b) analisar quantitativamente informações sobre o modelo de produção por meio de técnicas matemática e estatísticas para compreender os impactos de maiores investimentos no setor na melhoria dos serviços prestados.

Após pesquisa, foi escolhido como base de dados os Relatórios Anuais de Gestão elaborados pela CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos nos anos de 2006, 2009, 2010 e 2013. Estas datas foram escolhidas, pois permitem observar os impactos dos investimentos sobre janelas de tempo: 2006 (antes do início do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento) até 2013 (último relatório consolidado disponível); 2006 a 2009 (período antes de novo ciclo eleitoral) e 2010 a 2013 (período antes de novo ciclo eleitoral). O Relatório de Gestão tem o objetivo de expor periodicamente a prestação de contas exigida pelo Tribunal de Contas da União.

O estudo exploratório envolveu a sistematização de informações quanto aos investimentos do PAC realizados na CBTU durante o período e características gerais das unidades ferroviárias. O estudo descritivo buscou analisar estatisticamente as características da amostra utilizada, por meio de medidas de dispersão e posição. A análise quantitativa será realizada com o suporte da Análise Envoltória de Dados (DEA) e a análise do fator de produtividade – Índice *Malmquist*.

As variáveis de *inputs* utilizadas para análise são: custo total (soma dos custos operacionais, com pessoal e de produção) e número médio anual de funcionários (quantitativo de empregados enquadrados no Plano de Cargos e Salários da Companhia). Já as variáveis de *outputs* são: receita total (soma das receitas operacionais e não operacionais) e número de passageiros/km (a média dos passageiros transportados anualmente pela extensão da rota). Os resultados da eficiência foram analisados comparativamente aos indicadores de qualidade: pontualidade (viagens no horário/viagens realizadas) x 100; regularidade (viagens realizadas/viagens programadas) x 100 e segurança ao usuário (índices de acidentes). A Figura 1 expõe o modelo adotado.



Figura 1 - Modelo de produção adotado na pesquisa
Fonte: Elaborado pelos autores

4. Análise e Discussão dos resultados

O modelo proposto avaliou o sistema de transportes urbanos operados pela CBTU nas cidades de Natal, João Pessoa, Recife e Maceió nos períodos de 2006 a 2013, sendo cada ano uma DMU para análise, somando assim 32 DMUs. O modelo proposto é o CCR e a orientação para *input*. A Tabela 1 representa a média dos dados primários coletados nos relatórios da CBTU. Os valores do efetivo de pessoal de Recife encontram-se acima da média em todos os anos, enquanto que os de Natal encontra-se abaixo, denotando a demanda elevada na região metropolitana do estado de Pernambuco, em detrimento da capital potiguar. Os custos apresentam uma média de R\$ 60.000, sendo uma variável latente para a análise de eficiência. Os custos na cidade do Recife são maiores que os das outras cidades, Maceió apresenta-se logo em seguida. O mesmo aplica-se a receita própria e a extensão de passageiros/km de extensão.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Global
Efetivo de pessoal (total)									
Média	492	457	608	422	423	457	450	498	476
Desvio padrão	711	680	640	633	632	702	694	768	605
Mínimo	123	109	95	88	89	93	95	97	88
Máximo	1559	1477	1436	1371	1371	1510	1491	1650	1650
Custo total (mil)									
Média	41070	43452	68237	43368	55222	69409	71280	80002	59005
Desvio padrão	60738	64861	66425	70976	78461	102978	108579	118292	77480
Mínimo	9174	10692	12637	1230	14013	15347	15333	18241	1230
Máximo	132140	140743	146433	149592	172857	223805	234128	257404	257404
Receita própria (mil)									
Média	7828	7817	24696	9702	11381	14350	14463	17386	13453
Desvio padrão	13511	13319	29797	17194	20707	27043	27314	32924	21629
Mínimo	735	756	1148	874	610	411	543	754	411
Máximo	28091	27791	63566	35491	42438	54911	55433	66771	66771
Número de passageiro/Extensão da via									
Média	550,6	582,6	626,6	627,3	290,8	312,3	324,6	389,5	463,0
Desvio padrão	564,1	599,7	658,4	663,4	466,9	535,1	555,4	674,8	540,9
Mínimo	43,5	49,7	41,3	38,0	39,4	26,1	20,0	27,3	20,0
Máximo	1107,7	1230,2	1370,3	1365,4	990,2	1114,2	1157,1	1401,3	1401,3

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis de *input* e *output*

A partir dos valores encontrados no modelo DEA clássico, pode-se concluir que a cidade de Maceió obteve a máxima eficiência nos anos de 2008 e 2009 e eficiência acima de 50 por cento em 2006 e 2007. A eficiência de Maceió destaca-se pelos investimentos constantes na modernização do setor promovidos pelo PAC e outros programas de modernização das cidades. Houve investimentos concentrados nos anos de 2008 e 2009 para a recuperação de vias permanentes do sistema de trens urbanos do estado além de adequação dos custos visando o corte em excesso, como o de Material Rodante. Segundo o relatório da CBTU (2009), foi verificada uma melhoria substancial na demanda atendida, que atingiu em dezembro/2009, 163,0 mil passageiros transportados, valor superior em 5,1% ao realizado em 2008.

Essas ações justificam a orientação para *input* no modelo proposto, ou seja, a utilização eficiente dos recursos. Ademais, cabe destacar os investimentos em projetos de promoção à cultura, com o objetivo de gerar opções de entretenimento e lazer para melhorar a qualidade de

vida dos colaboradores e passageiros. Na Europa, além dos investimentos em processos administrativos, nota-se um dispêndio de capital relevante na ampliação na linha ferroviária a fim de atender à demanda, principalmente nas pequenas cidades na Europa (ABRAMOVIĆ et al., 2008). Esse tipo de investimento ainda é incipiente no Brasil, se for analisado sua extensão e seu papel econômico. A Figura 2 ilustra as eficiências das DMUs ao longo dos anos analisados.

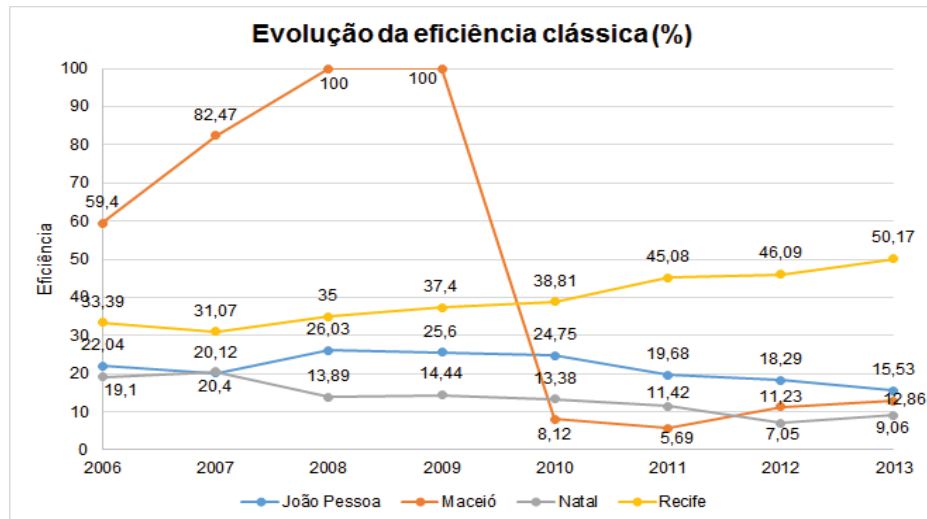


Figura 2 - Evolução da eficiência clássica

É interessante notar que Maceió, apesar de configurar entre as DMUs que mais otimizaram seus recursos para produzir uma receita satisfatória, mostrou-se ineficiente entre 2010, 2011 e 2012. Esse decréscimo na eficiência justifica-se pela ocorrência de chuvas fortes, ocorridas em 2010, que ocasionaram enchentes e consequentemente a paralisação da linha ferroviária que liga a cidade e municípios do estado. Tal fator climático prejudicou a efetividade do transporte, provocando atrasos, danos na infraestrutura e fechamento de locomotivas durante o período de reestruturação. A recuperação das linhas férreas perdurou os anos de 2011 e 2012. O ano de 2013 também se apresenta como ineficiente, porém não menos que os anos anteriores.

O estado de Recife apresenta-se como eficiência entre 30 e 47 por cento nos anos de 2006 a 2012 e o destaque para 2013, cuja eficiência ultrapassa os 50 por cento. Uma justificativa para esse cenário é respaldada pela aquisição de novas frota, o que influencia diretamente na redução do intervalo de transporte e aumento do número de viagens. Pode-se observar um aumento na eficiência do Estado conforme os anos passam. Esse e outros investimentos compõem os programas de reestruturação e modernização dos trens urbanos. Recife é o estado que apresenta o maior efetivo de pessoal e maior custo total em todos os anos avaliados.

As cidades de João pessoa e Natal apresentam-se como as mais ineficientes, já que todos os anos analisados estão abaixo de 30 por cento na escala de eficiência. Nos anos mais recentes, de 2010 a 2013, Natal se mostrou mais ineficiente do que nos anos anteriores. A falta de infraestrutura do setor e a baixa demanda são fatores que influenciam nesse ranking. A ineficiência apresentada diverge do trabalho/da pesquisa de Syed *et al.* (2014), no qual afirma que os serviços ferroviários nas pequenas cidades podem ajudar muito a aliviar opções pendulares e atender às crescentes demandas por serviços de transporte de massa de confiança dentro e fora dos centros das cidades para os subúrbios e cidades-satélites.

Os relatórios da CBTU (2010-2012) apontam que os problemas enfrentados com a manutenção da frota de material rodante (com mais de 50 anos), impediram a prestação de serviço adequado à população em Natal e João Pessoa. A frequência das falhas levou ao cancelamento de grande número de viagens. Fatores como a precariedade das malhas viárias, Orçamento insuficiente ou até mesmo cortes e atrasos na liberação deste; Carência dos municípios da região metropolitana atendidos pela ferrovia em manter uma política de transporte e urbano; O problema sociocultural identificado nas comunidades periféricas, o que

torna complicado o entendimento da importância da ferrovia, sem contar com os índices de vandalismo.

	Efetivo de pessoal (total)	Custo total (mil)	Receita própria (mil)	Número de passageiro/Extensão da via
Valores atuais	475,81	59004,88	13452,65	463,04
Valores projetados	192,85	21210,79	13453,63	614,62
Folga	-282,96	-37794,09	0,98	151,58
Folga percentual	-59,5%	-64,1%	0,0%	32,7%

Tabela 2 - Análise de folgas do modelo clássico

O panorama de avaliação da eficiência evidencia que a variável custo é a que mais contribui para a ineficiência. Logo, as DMUs devem reduzir ao os custos totais para que possam evoluir na escala de eficiência. Esse contexto corrobora com os trabalhos de Cantos *et al* (2002;2010), cujo trabalho apresentavam as variáveis custo como *input*. A variável de *output* número de passageiros/Km, assim como nos estudos de Yu e Lin (2007) e Graham (2008) também influenciam no ranking global da eficiência na medida em que a demanda baixa de passageiros pode não compensar os custos operacionais e não operacionais.

A análise das folgas na Tabela 2 evidencia a redução dos custos em 64 por cento e do número de funcionários em 59,5 por cento para que as variáveis sejam mais eficientes. Convém avaliar que a redução no número de empregados impacta positivamente na redução dos custos. Uma análise que justifica esse contexto é a de que a empresa necessita se capacitar e treinar seus membros para que haja uma efetividade em suas atividades quebrando a premissa de que qualidade é sinônimo de quantidade. Esses dados corroboram com os trabalhos de Cantos e Maudo (2000) e Nash *et al.* (2009), cuja análise dos *inputs* apontaram os custos como variável significativa para a eficiência. Outros trabalhos também utilizaram a variável número de funcionários para avaliar a eficiência de ferrovias (OUM; YU, 1994; DRIESSEN *et al.* 2006; YU, 2008; SHI *et al.* 2011). Por fim, deve-se aumentar a quantidade de passageiros por extensão da via em 32,7 %, tendo em vista a baixa demanda para esse tipo de transporte.

4.1 Índice de Malmquist

O Programa de Aceleração do Crescimento teve duas edições: PAC 1 no período entre 2007 e 2010; PAC 2 no período entre 2011 e 2014. As localidades atendidas com o apoio do Ministério das Cidades e a parceria dos governos locais, a CBTU buscou viabilizar as condições necessárias à inclusão dos projetos de modernização destes sistemas no PAC. Estes investimentos visavam propiciar um melhor atendimento às necessidades de deslocamento da população e contribuir para o desenvolvimento urbano e a melhoria da qualidade de vida daquelas regiões. No PAC 1, das unidades analisadas nesta pesquisa Recife foi beneficiada. Enquanto no PAC 2, Natal e João Pessoa foram inseridas.

Nesses três períodos, como pode ser observado na Tabela 3, Recife obteve o maior incremento de receita, seguido de Maceió. Natal e João Pessoa obtiveram os piores resultados. Entretanto, o Custo Total obteve grandes mudanças para todas as unidades. O que expõe uma situação mais preocupante para uma modelagem orientada ao *input* para João Pessoa e Natal, visto que o *output* Receita Total se reduziu, enquanto o *input* Custo Total aumentou.

	2006	2009	% Variação 2006-2009	2010	2013	% Variação 2010-2013	% Variação 2006-2013
Custo Total							
JP	9174	11134	21%	14599	18241	25%	99%
MA	13140	14754	12%	19419	23955	23%	82%

C							
NAT	9825	11515	17%	14013	20406	46%	108%
REC	132140	149592	13%	172857	257404	49%	95%
Número de funcionários							
JP	123	88	-28,5%	89	97	9,0%	-21,1%
MA	163	119	-27,0%	119	131	10,1%	-19,6%
C							
NAT	124	108	-12,9%	113	113	0,0%	-8,9%
REC	1559	1371	-12,1%	1371	1650	20,4%	5,8%
Passageiros/Km							
JP	86,36667	96,33	11,5%	93,63	60,6	-35,3%	-29,8%
MA	46,72897	55,91	19,7%	39,40	68,90	74,9%	47,5%
C							
NAT	43,46975	37,97	-12,6%	40,04	27,30	-31,8%	-37,2%
REC	964,7723	870,20	-9,8%	990,15	1401,33	41,5%	45,3%
Receita total							
JP	1290	1386,4	7%	1360,3	956,3	-30%	-26%
MA	735	873,8	19%	609,5	1060,6	74%	44%
C							
NAT	1196	1055	-12%	1115,9	754,4	-32%	-37%
REC	28091	35491	26%	42438	66771	57%	138%

Tabela 3 - Evolução das variáveis nos três períodos de análise

O comportamento da Receita Total e do Custo Total pode ser justificado pelos próprios investimentos ocorridos no período. No ano de 2006 apenas quatro projetos foram incluídos no PAC: Recife, Belo Horizonte, Salvador e Fortaleza. O que permitiu ao Governo concluir as intervenções, restabelecendo o escopo original que o Projeto Piloto de Investimentos ou PPI, não permitiria alcançar (BRASIL, 2006). O PPI tem o foco de projetos para eliminação de gargalos de infraestrutura e da logística de transportes, totalizando mais de 378 milhões empenhados em 2005 e 375 milhões em 2006 para tais municípios. Visto que apenas Fortaleza e Salvador foram incluídas no PPI, Belo Horizonte, Recife, Natal, João Pessoa e Maceió não foram incluídas em 2006 (BRASIL, 2005). Os três projetos de Natal, João Pessoa e Maceió, candidatos a inclusão também ao PAC, tiveram que ser desenvolvidos inicialmente pelos Governos locais, em seus planos diretores de transportes, de forma a se identificar a inserção correta dos trens, substituídos por VLTs, nas redes de transportes (BRASIL, 2006).

No ano de 2007, de acordo com a Lei 11.544 de 13 de Novembro de 2007, foram incluídos no PAC os projetos de implantação dos sistemas Recife. Enquanto, as ações de recuperação dos sistemas de Natal, João Pessoa e Maceió não foram incluídas, ficando a cargo dos investimentos da própria CBTU pela Lei Orçamentária Anual - LOA, em busca da modernização dos sistemas visando torná-los mais eficientes e seguros. As ações para recuperação dos sistemas de Natal, João Pessoa e Maceió, foram retomadas, em ritmo discreto, a partir do final de 2004, tiveram em 2007 aportes de recursos mais significativos e regulares e, em decorrência, avanços mais consideráveis (BRASIL, 2007).

No ano de 2008, os recursos aplicados nas ações do Governo Federal de implantação, modernização e recuperação de sistemas, valores disponibilizados para os projetos de implantação do trecho Rodoviária-Camaragibe (TIP-TIMBI) e Modernização do trecho e Rodoviária-Recife-Cabo do Sistema de Trens Urbanos de Recife com recursos do PAC 1, e na Recuperação dos Sistemas de Trens Urbanos de Natal, João Pessoa e Maceió que foi prejudicada pela baixa destinação de recursos, o que dificultou a recuperação destes sistemas com alto nível de degradação (BRASIL, 2008).

Em 2009, foram recebidos recursos do PAC para atendimento de Pernambuco. E para recuperação do sistema de João Pessoa, Maceió e Natal pela LOA (BRASIL, 2009). No ano de

2010, Natal e João Pessoa ainda obtiveram baixo orçamento da LOA, permitindo apenas a execução de serviços de recuperação de pontos críticos da via permanente e do material rodante (BRASIL, 2010a). O PAC 1 teve como principais resultados 84% da conclusão do metrô de Recife com operação da nova linha eletrificada e novos TUEs (BRASIL, 2010b).

Em 2011, foram enviadas propostas para inclusão de Natal e João Pessoa no PAC 2. Enquanto isso, os recursos foram destinados apenas à manutenção planejada. Como Maceió enfrentou fortes chuvas, vias permanentes foram destruídas, porém 3 novos VLTs foram entregues. Nas demais localidades, os recursos do PAC foram para a instalação de novas linhas (BRASIL, 2011).

Em 2012, ocorreu um aumento dos recursos providos pela publicação da Medida Provisória nº 573 de 27-06-12 (PAC Equipamentos), convertida na Lei 12.729 de 18-10-12, possibilitando a aquisição de nova frota de 12 VLT e 2 locomotivas para Natal (R\$154,0 milhões) e 8 VLT para João Pessoa (R\$96,0 milhões). Outra parcela é decorrente de duas emendas ao orçamento da CBTU, para implantação de linhas de VLT em Natal (R\$200 mil). Mais de R\$8,4 milhões foram destinados às ações de recuperação dos sistemas de Recife, Natal, João Pessoa e Maceió, além da adequação à acessibilidade universal, com R\$660 mil, Desenvolvimento de Estudos e Projetos, com R\$ 1,2 milhões e R\$ 6,5 milhões para reaparelhamento administrativo (BRASIL, 2002).

Em 2013, os sistemas de João Pessoa e Natal foram incluídos no PAC – Equipamentos, em 2012, com a aquisição para Natal de 12 VLTs e 2 locomotivas, e 8 VLTs para João Pessoa. Com os recursos de 2013, em João Pessoa foram firmados contatos para recuperação de locomotiva e aquisição de torno mecânico, com recursos de R\$2,00 milhões. No sistema de Trens Urbanos de Natal, com a dotação liberada de R\$2,0 milhões em 2013, foram adquiridos equipamentos para locomotivas, para a recuperação de motores de tração, aquisição de fixações e aquisição de AMVs – Aparelhos de Mudança de Via. Com os recursos aprovados na LOA-2013, foram realizadas contratações para aquisição de equipamentos de oficina, aquisição de equipamentos para os VLTs, recuperação de pontilhão, construção de muro de contenção, aquisição de fixações, remodelação da via permanente em dois trechos de via, e aplicação de solda aluminotérmica (BRASIL, 2013). Como principais resultados do PAC 2 foi a aquisição de novos trens elétricos, e novos investimentos das linhas Centro e Sul em Recife.

A Tabela 4 apresenta as eficiências relativas das unidades com as fronteiras CCR-Input nos anos 2006, 2009, 2010 e 2013. Em 2006, 2009 e 2010 havia 2 unidades eficientes, e apenas 1 em 2013, Recife. Nesses mesmos períodos, as médias de eficiência decresceram. O maior aumento nos Custos Totais ocorrido em Natal (108%) acompanhou o pior resultado na eficiência em 2013 (28,44%).

	Eficiência 2006	Eficiência 2009	Eficiência 2010	Eficiência 2013
JP	100%	100%	100%	73,56%
MAC	41,14%	44,8%	31,95%	61,94%
NAT	59,06%	47,54%	47,06%	28,44%
REC	100%	100%	100%	100%
Médi a	75,05%	73,09%	69,75%	65,99%

Tabela 4 - Eficiência relativa dos períodos a serem analisados no *Malmquist*

Quanto ao Índice *Malmquist*, nos três períodos analisados apenas Maceió obteve resultado maior 1, o que expõe uma melhora de produtividade. Na análise do *Malmquist* decomposto, observou-se que a sua melhora de produtividade nas três situações está associada à alteração nos investimentos, justamente pela sua não inclusão no PAC, os *inputs* da referida unidade foram reduzidos expondo o desempenho gráfico detalhado nas Figuras 3, 4 e 5, uma alteração de eficiência. Quanto à eficiência tecnológica, não foi observada nenhuma expansão de fronteira, apenas uma pequena retração para todas as unidades. Desse modo, não foram observados impactos ocasionados pela melhoria da gestão, na produtividade das unidades.

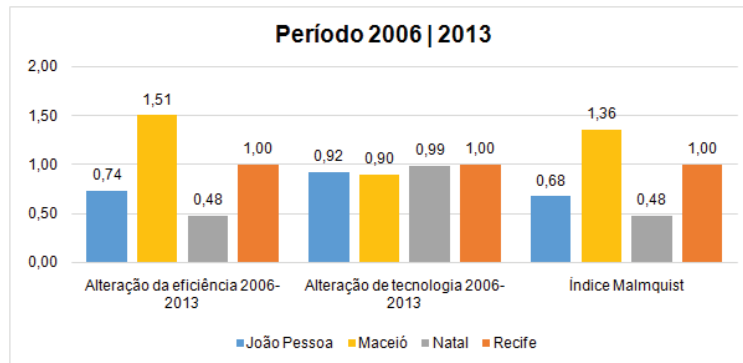
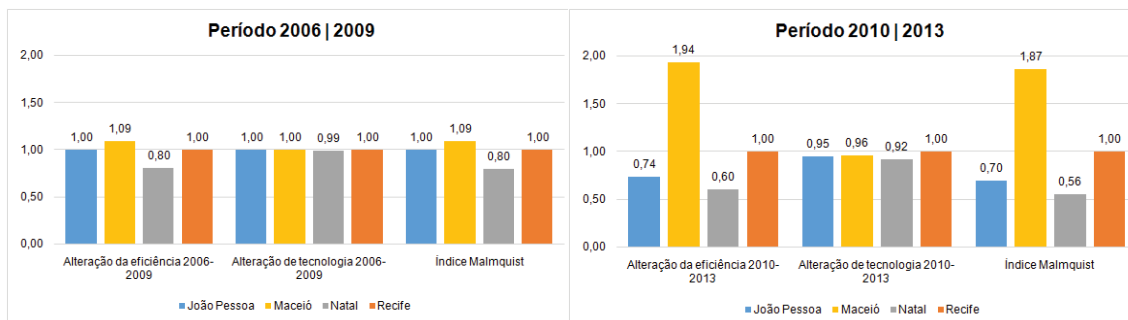

 Figura 3 - Índice *Malmquist* 2006-2013

 Figura 4 - Índice *Malmquist* 2006-2009

 Figura 5 - Índice *Malmquist* 2010-2013

Com o objetivo de diagnosticar a raiz do problema por meio de duas vertentes: (a) pelo resultado da eficiência entre os períodos - dada pela eficiência relativa; (b) pela distância entre os pontos - dada pela alteração da tecnologia, esta pesquisa utilizou o DEA *Malmquist*, assim como Shi, Lim e Chi (2011), Qing e Kun (2012) e Abate et al. (2013). Pode-se diagnosticar de forma mais estratificada que durante o PAC 1, não foram observadas grandes alterações visto que as obras não haviam sido finalizadas de fato, e apenas Recife fazia parte do projeto. Seus *outputs* cresceram bastante ao longo do tempo, com pequenos acréscimos nos seus *inputs*, o que gerou índices de eficiência em todos os períodos. No PAC 2, com a inserção de Natal e João Pessoa e conseqüentemente custos maiores e redução da quantidade de passageiros por/km houve redução da eficiência relativa. Como Maceió não foi incluído nos PAC 1 e 2 seu resultado foi melhor comparativamente, visto que seu número de passageiros por km e sua receita também aumentaram.

4.3 Comparação com o índice de desempenho (Regularidade, Pontualidade e Segurança)

Ao comparar os índices de desempenho em termos de pontualidade, segurança e regularidade com o ranking de eficiência global, percebe-se um grau de associação positiva com as eficiências apresentadas. Pode-se identificar que a variável “MAC 2008” e “MAC 2009” são as mais eficientes do grupo e também apresentam os maiores índices de pontualidade e regularidade se comparada aos outros anos de exercício. “MAC 2008” encontra-se em destaque por ter seus índices próximos da eficiência máxima, ou seja, além da otimização dos recursos e da receita satisfatória, cabe destacar a pontualidade e a regularidade das viagens realizadas. Não houve acidentes nesse período ou não foram mostradas no relatório.

Já nas DMUs “MAC 2011” e “MAC 2010”, observa-se um índice elevado no número de acidentes, época em que houve uma complicação no sistema devido a fortes chuvas. Os valores são os maiores encontrados em Maceió entre os anos avaliados. Recife apresenta bons resultados em termos de regularidade entre 2006 e 2012. Porém cabe destacar o índice de acidente no ano de 2006, o mais alto entre todos os anos analisados na cidade. O índice de segurança mais alto pertence a “MAC 2006” com 6,7. João Pessoa apresenta é a cidade que

apresenta o mais baixo índice de pontualidade se comparado às outras cidades, o índice mais baixo é em “JP 2013”, é também a variável mais ineficiente da cidade de João Pessoa.

Em relação à cidade de Natal, ressalta-se o baixo índice de regularidade de pontualidade nos anos de 2011, 2012 e 2013, onde a cidade se apresenta como ineficiente. Percebe-se uma tendência a aumentar a porcentagem da regularidade e da pontualidade na medida em que a eficiência sobe no ranking global da eficiência. Isso pode ser visto se compararmos “NAT 2012”, “NAT 2013” e “NAT 2011”, respectivamente. A variável menos apresenta o índice das viagens programadas/realizadas e viagens no horário/realizadas. Natal não apresentou índices de acidentes nos anos avaliados ou não constam no relatório.

Existe uma associação entre as variáveis de análise e os índices de desempenho, devido ao montante de recursos alocados para treinamento, aquisição de equipamentos, manutenção e outras áreas, sendo que o conjunto dela influencia na melhora do desempenho organizacional. Por exemplo, um Investimento em novos equipamentos ou frota pode influenciar no aumento da demanda como também na regularidade, na pontualidade e segurança.

5. Conclusões

O VLT é um veículo moderno, climatizado, sustentável e acessível aos portadores de necessidades especiais, porém algumas barreiras impedem sua efetividade nas cidades estudadas. Evidencia-se nas cidades avaliadas um crescimento populacional e econômico. No entanto, o transporte ferroviário não acompanha tal crescimento tendo em vista a expansão urbana e a preferência por outros meios de transporte. Diferente dos países desenvolvidos, as políticas desenvolvidas no Brasil estão atrasadas no que tange aos benefícios do uso dos transportes ferroviários. A malha ferroviária e metroviária ainda é incipiente quando comparada a de países como a Europa, EUA e Canadá. A população prefere ter seu próprio veículo que utilizar transporte urbano, e os que não têm condições de adquirir um veículo próprio, reclamam do sistema de transporte urbano como um todo.

Diversos fatores, sejam exógenos e endógenos, afetam a eficiência dos transportes urbanos. Desde as políticas socioeconômicas, o que dificulta o repasse e investimento em equipamentos e recursos para o bom funcionamento e gestão dos transportes, como também fatores internos, como a falta de planejamento adequado de curto e longo prazo, a falta de integração entre os modais de transporte, medidas preventivas afim de não prejudicar o funcionamento do transporte em caso de chuvas, greve e entre outros.

A empresa deve controlar os índices de pontualidade e regularidade com o intuito de garantir o bom desempenho organizacional. Com essa medida, aliada ao bom funcionamento do sistema, fidelizará o cliente. Logo, deve-se estudar e promover meios para que as receitas operacionais e extra operacionais aumentem gradativamente e os processos sejam otimizados. Contudo, capacitar os recursos humanos disponíveis na empresa, afim de aproveitar uma cooperação organizacional, é a chave para que se alcance melhores resultados.

Os investimentos realizados pelos PAC 1 e 2 não ocorreram de forma homogênea no decorrer dos períodos. Recife foi a única que recebeu investimentos em todos os períodos, enquanto Natal e João Pessoa receberam recursos apenas em sua segunda fase. Como seus sistemas são considerados defasados e estão bastante degradados não foi possível melhorar o atendimento e conseqüentemente suas receitas. Essas condições geram manutenção com bastante frequência ocasionando altos custos para o sistema. Em Maceió, o sistema atual ainda comporta evoluções no número de passageiros. Observa-se a necessidade de novas práticas de gestão para melhoria do desempenho global. Com as novas soluções implantadas com mais tecnologia, espera-se em um novo horizonte de 4 anos uma progressão da fronteira de eficiência, que ainda não foi observada na situação atual.

Outro fator a ser analisado é a falta de integração entre os modais de transportes nas regiões analisadas. Infelizmente, não configura-se o sistema de transporte nos moldes de mobilidade urbana já apresentados em grandes países. Sabe-se que a intermodalidade é uma realidade nos países desenvolvidos, onde há estímulo constante a interligação entre trens e aeroportos, trens e transportes ferroviários e entre outros. Esse contexto corrobora para uma redução no tempo de movimentação, descentralização na decisão de transporte, culminando na

redução de custos globais. Em Natal, tem-se um projeto para integrar o VLT ao Aeroporto Internacional Aluizio Alves.

Investir de forma eficiente no sistema de transporte assim, como planejar e gerenciar constantemente as atividades, principalmente os fatores de risco, de forma a reduzir os problemas, contribui para um serviço de qualidade. Para isso, deve-se reduzir ao máximo os fatores que impactam negativamente no desempenho da organização investindo e gerindo os recursos bases. O presente artigo também avaliou o grau de associação entre as variáveis e os índices de desempenho concluindo que o bom funcionamento do sistema depende da interação entre ambos. Trabalhar bem os recursos impacta positivamente na produção, assim como influencia no bom desempenho organizacional.

REFERÊNCIAS

Abate, M. ; Lijesen, M. ; Pels, E. ; Roelevelt A. The impact of reliability on the productivity of railroad companies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 51, p. 41-49, 2013.

Abramović, B.; Petrović, M.; Zavada, J. Blašković. Use Of Railways For Urban Passenger Transport. *Urban transport*. 2008.

Almeida, M. R. D. E. A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): uma integração da análise envoltória de dados e índice malmquist. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2010.

Azadeh, Ali; Ghaderi, S. F.; Izadbakhsh, H. Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization. *Applied Mathematics and Computation*, v. 195, n. 2, p. 775-785, 2008.

Banker, R. D.; Charnes, A.; Cooper, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, p. 1078–1092, 1984.

Brasil. Presidência da República; Ministério do Planejamento. 11º Balanço Completo do PAC2 – 4 anos (2011-2014). Brasília. dez. 2014.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2006*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2006 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2006.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2007*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2007 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2007.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2008*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2008 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2008.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2009*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2009 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2009.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2006*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2010 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2010.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2011*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2011 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2011.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2012*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2012 (<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2012.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Companhia Brasileira de trens urbano - CBTU. *Relatório de Gestão – Exercício 2013*, n. 23, Companhia Brasileira de Trens Urbanos, 2013

(<http://www.cbtu.gov.br/images/relatorios/gestao/gestao2013.pdf>) 20, 2015.

Brasil, Ministério do Planejamento. *Relatório anual - projeto piloto de investimentos.*

Ministério do Planejamento, 2005

(http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spi/programas_projeto/PPI/060100_PRP_PPI_relAnual.pdf), 2015.

Brasil, Ministério do Planejamento. *Balanco do Programa de Aceleração do Crescimento - 2007 a 2010.* Ministério do Planejamento, 2010

(<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/6c57986d15d0f160bc09ac0bfd602e74.pdf>), 2015.

Brasil, Ministério do Planejamento. *Balanco do Programa de Aceleração do Crescimento – 2011 a 2014.* Ministério do Planejamento, 2014

(<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/f9d3db229b483b35923b338906b022ce.pdf>), 2015.

Camanho, A. S.; Dyson, R. G. Data envelopment analysis and Malmquist indices for measuring group performance. *Journal of Productivity Analysis*, v. 26, n. 1, p. 35–49, jul., 2006.

Caulfield, B.; Bailey, D.; Mullarkey, S. Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool. *Transport Policy*, v. 29, p. 74–85, set., 2013.

Cantos, P.; Maudos, J., 2001. Regulation and efficiency: the case of European railways. *Transportation Research Part A*, 35 (5), 459–472.

Cantos, P.; Pastor, J.M. ; Serrano, L., 2002. Cost and revenue inefficiencies in the European railways. *International Journal of Transport Economics*, 29 (3), 279–308.

Cantos, P.; Pastor, J.M.; Serrano, L., 2010. Vertical and horizontal separation in the European railway sector and its effects on productivity. *Journal of Transport Economics and Policy*, 44 (2).

Caves, D. W.; Christensen, L. R.; Diewert, W. E. Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers. *The Economic Journal*, v. 92, p. 73–86, 1982.

Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429–444, nov. 1978.

Chen, Y.; Iqbal Ali, A. DEA Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry. *European Journal of Operational Research*, v. 159, n. 1, p. 239–249, nov. 2004.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. *O sistema ferroviário brasileiro.* Brasília: CNT, 2013.

Cook, W. D.; Seiford, L. M. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, v. 192, n. 1, p. 1–17, jan. 2009.

Correa, C. A. V. Economic evaluation of current conditions of competition and efficiency of automotive and rail systems in Colombia. *Energy Policy*, v. 46, p. 78–87, 2012.

Driessen, G.; Lijesen, M. ;Mulder, M., 2006. The impact of competition on productive efficiency in European railways. *CPB Discussion Paper*, The Hague.

Estache, A. ; Perelman, S. ; Trujillo, L. Measuring quantity-quality trade-offs in regulation: the brazilian freight railways case. *Annals of public and cooperative economics*, v. 78, n. 1, p. 1–20, 2007.

Grosskopf, S. Some Remarks on Productivity and its Decompositions. *Journal of Productivity Analysis*, v. 20, p. 459–474, 2003.

Guan, J. C.; Yan, R. C. M.; Mok, C. K. ; Ma, N. A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, v. 170, n. 3, p. 971–986, maio 2006.

Jafarian-Moghaddam, A .R. ; Ghoseiri, K. Multi-objective data envelopment analysis model in fuzzy dynamic environment with missing values. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61 (5-8), p. 771–785, 2012.

Jafarian-Moghaddam, A. R.; Ghoseiri, K. Fuzzy dynamic multi-objective Data Envelopment Analysis model. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 850–855, 2011.

- Jitsuzumi, T.; Nakamura, A.** Causes of inefficiency in Japanese railways: Application of DEA for managers and policymakers. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 44, n. 3, p. 161–173, 2010.
- Liu, F.-H. F.; Wang, P.** DEA Malmquist productivity measure: Taiwanese semiconductor companies. *International Journal of Production Economics*, v. 112, n. 1, p. 367–379, mar., 2008.
- Liu, J. S., Lu L. T. Y., Lu, W-M, Lin, B. J. Y.** A survey of DEA applications. *Omega*, v. 41, n. 5, p. 893–902, out. 2013.
- Luan, Kun; Qing, Zhang.** Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference on, *Study on Huai'an transport system internal coordination development based on DEA model*, 2012, p. 2904-2907.
- Malmquist, S.** Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, v. 4, n. 2, p. 209–242, jun., 1953.
- Noroozadeh, A.; Sadjadi, S. J.** A new approach to evaluate railways efficiency considering safety measures. *Decision Science Letters*, v. 2, n. 2, p. 71-80, 2013.
- Oum, T. H.; Yu, C.,** 1994. Economic efficiency of railways and implications for public policy: a comparative study of the OECD countries' railways. *Journal of Transport Economics and Policy*, 28 (2), 121_138.
- Perelman, S.; Coeli, T.** A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways. *European Journal of Operational Research*. v.117, n. 2, 1999, p.326–339.
- Rayeni, M. M.; Saljooghi, F. H.** Ranking and measuring efficiency using secondary goals of cross-efficiency evaluation—a study of railway efficiency in Iran. *International Journal of Services and Operations Management*, v. 17, n. 1, p. 1-16, 2014.
- Shi, F. X.; Lim, S. H.; Chi, J.** Railroad productivity analysis: case of the American Class I railroads. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(4), 372–386, 2011.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Meza, L. A., Gomes, E. G. e Biondi Neto, L.** Curso de análise de envoltória de dados. *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Gramado, RS, 2005.
- Sueyoshi, T.; Aoki, S.** A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test. *Omega*, 2001.
- Syed, K. B.; Chandra, N.; Sankaran, S.; Dyamnavar, S.; Sitharam, T. G.** Suburban rail system - to the rescue of urban infrastructure crisis faced by the metropolitan cities in emerging economies. Paper presented at the *ICSI 2014: Creating Infrastructure for a Sustainable World - Proceedings of the 2014 International Conference on Sustainable Infrastructure*, 2014, p.11-22.
- Wey, Wann-Ming.** Smart growth and transit-oriented development planning in site selection for a new metro transit station in Taipei, Taiwan. *Habitat International*, v. 47, p. 158-168, 2015.
- Yu, M. M.; Lin, E. T. J.** Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model. *Omega*, 36(6), p. 1005–1017, 2008.
- Yu, M. M.** Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42, n. 10, 2008.