



ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DOS MODOS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS COM ÊNFASE NO MODO AQUAVIÁRIO

Vanessa de Almeida Guimarães

Ilton Curty Leal Junior

Juliana Pedroso de Sales

Jullyanna da Costa Abade

Fernanda Fernandes

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-87893-17-8



ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DOS MODOS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS COM ÊNFASE NO MODO AQUAVIÁRIO

Vanessa de Almeida Guimarães

Ilton Curty Leal Junior

Juliana Pedroso Sales

Jullyana da Costa Abade

Fernanda Fernandes

Universidade Federal Fluminense

Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGA

RESUMO

As modificações na configuração das cidades brasileiras intensificaram a demanda por transporte, especialmente motorizado, uma vez que as atividades de trabalho, estudo e lazer encontram-se dispersas na maioria dos centros urbanos. Associado a isso, tem-se o desbalanceamento do transporte de passageiros - o qual é focado no modo rodoviário - causando diversos tipos de impactos, inclusive ambientais. Dessa forma, aliar mobilidade à redução de impactos ambientais torna-se um desafio. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho ambiental das alternativas de transporte entre Rio e Niterói por meio da aplicação do conceito de ecoeficiência. Foram desenvolvidas pesquisas documentais e bibliográficas para levantamento de dados e aplicou-se a análise relacional *grey* para avaliação do desempenho dos modos. A partir da identificação da baixa taxa média de ocupação das barcas, enfocou-se o estudo neste modo de transporte, analisando os impactos da variação desta taxa no seu desempenho e propondo ações para aumentá-la.

ABSTRACT

Modifications in Brazilian cities configurations intensified the transport demand, especially motorized, since work, study and leisure activities are dispersed in most urban centers. Related to it, the unbalanced passenger transport - which is focused in road mode - causes several types of impacts, including the environmental ones. Thus, aligning mobility to environmental impacts reduction become a challenge. So, the main purpose of this work is to evaluate the environmental performance of different transport alternatives connecting Rio to Niterói, using ecoefficiency concept. Literature and documental research were done in order to get a data survey and grey relational analyses were applied to establish the performance ranking. We identify the low average rate of usage of barges and decided to focus in this alternative, analyzing the impacts of varying this rate in barge's performance and proposing actions to increase this rate.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte é fundamental para o desenvolvimento econômico de determinada região, pois proporciona o escoamento da produção a mercados consumidores antes restritos, em função das distâncias entre os pontos de produção e consumo. Além disso, proporciona mobilidade e acessibilidade para a população (Guimarães *et al.*, 2013a). Contudo, trata-se de uma atividade dependente de combustíveis fósseis provenientes de fontes não-renováveis: em 2010, 62% do consumo mundial e 53% do consumo brasileiro de derivados de petróleo foram empregados no setor de transporte (IEA, 2012; EPE, 2012). Dessa forma, ao mesmo tempo em que é importante economicamente, causa impactos ambientais, sobretudo relacionados ao consumo de energia, emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa.

Em relação ao transporte de passageiros, 92% da movimentação concentram-se no modo rodoviário (MME, 2012), o qual apresenta a menor eficiência energética entre os modos de disponíveis, especialmente tratando-se de veículos de menor capacidade (automóveis e motocicletas). Essa divisão modal desbalanceada é agravada pelo fato dos veículos – principalmente individuais - circularem com baixa taxa de ocupação (Silva *et al.*, 2014).

Dessa forma, aliar mobilidade à redução dos impactos ambientais torna-se um desafio. Neste

contexto, surge a seguinte problemática: como avaliar o transporte urbano de passageiros levando em conta aspectos econômicos e ambientais? Para elaboração deste trabalho, selecionou-se o trecho entre as cidades de Niterói e Rio de Janeiro. Este trajeto justifica-se pela intensa movimentação e pela existência de diferentes alternativas de transporte (rodoviário e aquaviário). Contudo, o estudo de Silva *et al* (2014) aponta que, embora a barca seja a alternativa de maior capacidade, ela apresenta uma baixa taxa de ocupação média, o que pode influenciar no desempenho ambiental da mesma.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho ambiental das alternativas de transporte entre Rio e Niterói por meio da aplicação do conceito de ecoeficiência, comparando-se o desempenho das barcas em relação às demais alternativas. Como objetivos secundários, têm-se: (1) avaliar o impacto da baixa taxa de ocupação da barca; (2) apresentar possíveis causas da baixa taxa de ocupação dos transportes aquaviários e (3) levantar ações que, se adotadas, podem levar a redução da ociosidade deste modo de transporte e melhorar seu desempenho ambiental, caso necessário.

Como delimitação do estudo, optou-se por considerar os fluxos do centro de Niterói ao centro da cidade do Rio. Além disso, não foram considerados todos os possíveis impactos ambientais provenientes dos modos de transporte, concentrando-se apenas no consumo de energia renovável e não renovável e emissões atmosféricas.

Além desta introdução, o artigo está dividido em quatro seções: (1) revisão teórica sobre o transporte de passageiros e meio ambiente; (2) procedimentos metodológicos; (3) apresentação, análise e discussão dos dados e (4) considerações finais.

2. TRANSPORTE DE PASSAGEIROS E MEIO AMBIENTE

No Brasil, as transformações na mobilidade estão associadas à urbanização das cidades no início na década de 1950, quando houve aumento considerável do uso de automóveis e ônibus devido às políticas de incentivo do governo no setor automobilístico (IPEA, 2011). Segundo o relatório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2011) de 1950 a 2005 houve tanto uma intensificação no número de viagens quanto no uso de transportes motorizados: em 2005 foram registradas 3,166 trilhões por automóveis e ônibus, contra 220 milhões em 1950.

Este comportamento é confirmado por dados do Ministério de Minas e Energia - MME (2012): desde a década de 70 observa-se, no Brasil, um aumento na taxa média de passageiros transportados de 6,4% ao ano. Isso representa um grande acréscimo nos deslocamentos entre 1970 e 2010: de 131,9 bilhões passageiros.km para 1.584,5 bilhões passageiros.km. Além disso, destaca-se que, só em 2010, foram transportados 14,6 bilhões de passageiros no país (CNT, 2012), sendo que 92% dos deslocamentos foram feitos pelo modo rodoviário (MME, 2012).

Schafer e Vitor (1997) atribuem essa concentração dos movimentos neste modo ao fato dos sistemas de transportes de países em desenvolvimentos serem menos estruturados. No Brasil, o transporte motorizado de passageiros está configurado conforme apresentado na Tabela 1. Verifica-se que há diversidade nos meios utilizados para locomoção embora a disponibilidade destes varie de acordo com a região analisada. Entretanto, destaca-se a utilização mais intensa dos modos de transporte individuais, em função da insuficiência dos sistemas de transporte público em atender a demanda e às suas deficiências de gestão e operação (ANTP, 1997).

Tabela 1: Configuração do transporte de passageiros no Brasil

Modo	% de utilização ⁽¹⁾	Tipo	Meio utilizado
Rodoviário	92,2%	Individual	Carros; Motocicletas
		Coletivo	Ônibus padrão; Ônibus articulado; <i>Bus rapid transit</i> (BRT) ²
Ferrovário	1,7%	Coletivo	Trem; Metrô; Veículo leve sobre trilhos (VLT)
Aquaviário	0,1%	Coletivo	Barcas; Navios
Aéreo	6%	Coletivo	Aviões

Notas: (1) MME (2012); (2) Pressupõem a existência de uma via exclusiva para o ônibus articulado trafegar.

Ressalta-se que os modos apresentados na Tabela 1 causam diferentes impactos ambientais, em intensidades diversas. Tais impactos variam de acordo o veículo, a intensidade de uso, a ocupação, tipo de combustível empregado, entre outros fatores. A literatura pesquisada (Guabiroba *et al*, 2014; Silva *et al*, 2014; Leal Junior, 2010; Leal Jr. e Guimarães, 2013b; Fogliatti *et al*, 2004) aponta como impactos mais relevantes neste setor: consumo de energia, consumo de água, consumo de material, emissão de gases de efeito estufa, poluição atmosférica, poluição térmica, poluição sonora, poluição visual e poluição da água e do solo.

Neste sentido, torna-se importante avaliar o desempenho dos modos de transporte, em termos econômico e ambientais. A avaliação de desempenho neste setor é entendida como um conjunto de procedimentos que permite avaliar, analisar e descrever o atendimento aos requisitos de movimentação (de pessoas e/ou de bens), a partir de critérios predefinidos. O objetivo é alcançar a melhoria desse serviço (Manheim, 1980; Morlok, 1980; Leal Jr, 2010).

Assim, o transporte de passageiros deveria atender as necessidades de acessibilidade e mobilidade da população, gerando reflexos positivos nas dimensões econômicas, ambientais e sociais (esta última, de forma indireta). Neste contexto, destaca-se a ecoeficiência.

A adoção de medidas de ecoeficiência na avaliação de desempenho modos de transporte é relevante, pois este conceito, quando implementado, pode conduzir as organizações/sistemas a se tornarem ambientalmente responsáveis sem comprometer o seu desempenho econômico (WBCSD, 2000 e 2006). Trata-se de uma abordagem que enfoca o emprego adequado de recursos materiais e energéticos visando à redução de custos e/ou a maximização de lucros (Pereira, 2005; Mickwitz *et al.*, 2006; Fiksel 1996; Braungart *et al.*, 2007; Leal Jr, Garcia e D'Agosto, 2012; Guimarães e Leal Jr., 2013b; Leal Jr e Guimarães, 2013).

A utilização deste conceito requer medidas específicas baseadas na relação de valor do produto - ou serviço - com as influências ambientais (equação 1). O valor do produto (ou serviço) é representado por indicadores relacionados à quantidade de passageiros movimentada ou ao valor monetário dessa movimentação. Já as influências ambientais são representadas por indicadores ligados aos impactos ambientais apresentados.

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Valor do Produto ou Serviço}}{\text{Influências Ambientais}} \quad (1)$$

Analisando a equação 1, percebe-se que o aumento no valor do produto (ou serviço) e/ou a redução de influências ambientais reflete positivamente na medida de ecoeficiência e, conseqüentemente, no desempenho organizacional. Obtém-se um maior desempenho porque se trata de uma relação direta entre o quanto se produz (representados pelo valor do produto ou serviço) e os recursos utilizados (representados pelas influências ambientais).

Neste contexto, pode-se afirmar que a aplicação deste conceito visa o aumento do valor do produto ou serviço e/ou a redução da utilização de recursos e/ou insumos (Petkow e Almeida, 2005). Destaca-se que a redução na utilização de recursos, resulta em benefícios econômico-financeiros associados à eficiência e, ao mesmo tempo, reduz os impactos ambientais. Assim, apontam-se como ações para se aumentar a ecoeficiência: o uso adequado a matéria prima, a redução no consumo de energia, a reutilização e/ou reciclagem dos insumos, entre outras.

Além disso, outra estratégia para aumentar a ecoeficiência é aumentar o valor do serviço mantendo-se o mesmo nível de influências ambientais (ou aumentando mais que proporcionalmente ao aumento das influências). No caso deste artigo o valor do serviço poderia ser aumentado com o incremento no número de passageiros transportados.

3. METODOLOGIA

Este trabalho se baseou em pesquisas bibliográfica e documental, conforme Silva e Menezes (2001). Bibliográficas a fim de ampliar a compreensão sobre a área de estudo, os modos de transporte avaliados, as variáveis a serem utilizadas e o trajeto compreendido na análise. Além disso, tiveram como intuito levantar informações sobre a gestão da capacidade dos meios de transporte e melhoria da taxa de ocupação. Documentais, por sua vez, tiveram como objetivo coletar os dados que seriam usados para avaliar o desempenho dos modos de transporte. Além disso, foi feita uma entrevista com um representante da Concessionária CCR para complementar esta coleta de dados.

Adotou-se o método de análise multicritério (conhecido como *Análise Grey*) para avaliar o desempenho das alternativas de transporte. Em seguida, foram analisados qualitativamente, os trabalhos selecionados que falaram sobre melhoria na taxa de ocupação. Assim, a análise de dados caracteriza-se por ser quantitativa e qualitativa.

Destaca-se que para estimar os indicadores usados na análise foram aplicadas as equações:

$$CET = ce \times p \times d \quad (2)$$

$$CEN = CET \times pen \quad (3)$$

$$ECO2 = c \times fe \quad (4)$$

$$EPA = \sum_{i=1}^n (p/to \times d \times fep_i) \quad (5)$$

Onde:

c: consumo total de combustível [l]

ce: consumo de energia [MJ/pass/km]

CEN: consumo de energia não-renovável [MJ]

CET: consumo total de energia [MJ]

d: distância de cada viagem [km]

ECO2: emissão total de CO₂ [kg]

EPA: emissão total de poluentes atmosféricos [g]

fe: fator de emissão de CO₂ do combustível utilizado [kg/l]

fep_i: fator de emissão do poluente *i* [g/km]

p: quantidade de passageiros transportados [pass/dia]

pen: parcela de energia não-renovável do combustível utilizado [%]

to: lotação média por veículo do modo analisado [pass/veículo]

3.1 Análise relacional *grey*

A teoria de sistemas *grey* foi proposta por Deng, em 1982, visando evitar os problemas inerentes aos métodos estatísticos (Wen, 2004). Desde então ela tem sido aplicada em variados campos de pesquisa como produção, sistemas sociais, ecologia, economia, geografia, tráfego, gerenciamento, educação etc. Segundo Bischoff (2008), a GRA utiliza a informação do sistema *grey* para comparar dinamicamente cada fator quantitativamente. Seja um conjunto de observações $\{X_0^{(0)}, X_1^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}\}$, onde $X_0^{(0)}$ é uma observação referencial e $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_m^{(0)}$ são observações originais a serem comparadas. Cada observação X_i possui n medidas que são descritas sob a forma de séries $X_i = \{X_i^{(0)}(K), \dots, X_m^{(0)}(n)\}$, onde cada componente dessa série, antes de qualquer operação, é normalizado da forma a seguir.

Se quanto maior melhor (equação 6).

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(o)}(k) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \text{ para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (6)$$

Se quanto menor melhor (equação 7).

$$x'_i(k) = \frac{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - x_i^{(o)}(k)}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \text{ para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (7)$$

Onde: $x'_i(k)$ é o valor normalizado de uma medida k para uma observação original $x_i^{(o)}$.

A série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis e representa o estado desejado para qualquer série é representada por x_0 , sendo os valores da mesma iguais a 1. Essa é uma abordagem que propõe um contorno para os muitos casos em que a medida de referência não é facilmente encontrada ou difícil de ser calculada.

Após a normalização dos dados de cada série, calculam-se os coeficientes relacionais *grey* γ (equação 8).

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (8)$$

Onde $\zeta \in [0,1]$ assume, em geral, o valor 0,5, sendo útil somente para diferenciar os elementos da série e não influenciando na ordenação final das séries (Deng, 1989).

Depois de estabelecido os coeficientes relacionais *grey*, é preciso estabelecer os graus de relacionamento *grey* para cada série (Deng, 1989), conforme a equação 9. Os graus de relacionamento *grey* podem ser calculados ponderando os coeficientes relacionais *grey* com pesos iguais ou diferentes, dependendo da importância de cada atributo na avaliação.

$$\Gamma_i = \sum_{k=1}^n \beta_k \gamma_i(x'_0(k), x'_i(k)) \quad (9)$$

Onde β_k é o peso de cada atributo e $\sum_{j=1}^n \beta_k = 1$.

No caso da utilização das medidas de ecoeficiência, os pesos devem ser dados às medidas. Após o cálculo dos graus de relacionamentos *grey*, ranqueiam-se as sequências, sendo esse procedimento chamado Ranking Relacional *Grey*. Optou-se pelo método *Grey* por se tratar de uma técnica simples e objetiva que permite avaliar atributos de diferentes métricas.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a avaliação proposta neste artigo, selecionou-se o trecho entre o centro da cidade do Rio de Janeiro e o centro de Niterói. Transitam diariamente neste segmento selecionado cerca de 232.000 pessoas (Silva *et al*, 2014). Em sua maioria, são pessoas que se deslocam de uma cidade para a outra diariamente por motivos de trabalho, estudo, esporte e/ou lazer, utilizando o modo rodoviário (individual e coletivo) e aquaviário (coletivo). Destes, 34% fazem o trajeto por barca. Assim, para este artigo foram adotados os parâmetros apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros usados para realização deste artigo

Parâmetro	Descrição
Passageiros e suas características	Aqueles que viajam, principalmente, para estudar e/ou trabalhar.
Rede e modos de transporte	Rede e alternativas apresentadas na tabela 3
Categoria de análise	Ecoeficiência
Aspectos	Valor do serviço e influências ambientais
Ponto de vista	Governamental
Nível de análise	Estratégica
Escopo	Parte do sistema de transporte

Partindo destes parâmetros, foram avaliadas seis alternativas de transporte existentes no trecho analisado (descritas na Tabela 3).

Tabela 3: Descrição das alternativas de transporte analisadas

Modo	Tipo	Alternativa	Tipo	Combustível	Capacidade [pass/veículo]	Ocupação média
Rodoviário	Individual	A1	Carro <i>flex</i>	Gasolina	5	26%
		A2	Carro <i>flex</i>	Etanol	5	26%
		A3	Moto	Gasolina	2	55%
	Coletivo	A4	Ônibus <i>Padron</i>	Diesel (B5)	83	96%
		A5	Ônibus urbano convencional	Diesel (B5)	75	87%
Aquaviário	Coletivo	A6	Barca	Diesel	2000	32%

Nota: (1) Percorre-se 20,7 km, pelo modo rodoviário, do Terminal Alfredo Agache (RJ) ao Terminal João Goulart. Pelo aquaviário, a origem é a Praça XV (RJ) e o destino a Praça Araribóia (Niterói), somando 5 km.

Fonte: Dados da pesquisa (2014) e CCR (2013).

Para a estimativa dos indicadores foram considerados os dados apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Dados usados para estimar os valores dos indicadores

Alternativas	Passageiros [pass/dia] ^{1,2}	Lotação média [pass/veículo]	Consumo Combustível [Km/l]	Parcela de energia não-renovável [%]	Consumo de energia [MJ/km/pass]	Fator de Emissão de CO ₂ [Kg/l] ³	Fator de Emissão de Poluentes Atmosféricos [g/km]			
							CO	NOx	NMHC	MP
A1	105.792	1,3	12	25	2,22	1,9963	0,33	0,030	0,032	0,0011
A2	26.448	1,3	8	100	2,31	1,1780	0,56	0,032	0,030	0
A3	9.280	1,1	40	25	0,79	2,2690	1,02	0,10	0,14	0,0035
A4	5.800	80	2,4	5	0,19	2,5668	1,39	0,27	7,84	0,131
A5	5.800	65	2,3	5	0,24	2,5668	1,39	0,27	7,84	0,131
A6	78.880	640	0,03	0	1,51	2,6710	1,01	0,19	5,68	0,095

Notas: (1) 152 mil pessoas circulam pela ponte Rio-Niterói, por dia, sendo: 87% por veículos leves, 8% por veículos pesados e 5% por motos (CCR, 2013). (2) Admitiu-se que 80% dos veículos leves que circulam são a gasolina e 20% a etanol. (3) Considerou-se que a gasolina brasileira tem uma mistura de 25% de álcool.

Para aplicação da ecoeficiência (equação 1), considerou-se como valor do serviço: a quantidade média de passageiros transportados por dia. Como influências ambientais, foram selecionados os seguintes indicadores: (1) o consumo total de energia; (2) o consumo de energia não-renovável; (3) a emissão total de dióxido de carbono – CO₂ e (4) a emissão total de poluentes atmosféricos, sendo considerados neste item o monóxido de carbono – CO, o óxido de nitrogênio – NO_x, os hidrocarboneto não-metanos – NMHC e o material particulado – MP. Assim, aplicando as equações 2, 3, 4 e 5 aos dados da Tabela 4, chegaram-se aos resultados de indicadores da Tabela 5.

Tabela 5: Indicadores usados para o cálculo da ecoeficiência

Alternativas	Passageiros Transportados [Pass]	Consumo Total de Energia [MJ]	Consumo Energia não Renovável [MJ]	Emissão Total de CO ₂ [Kg]	Emissão Total de Poluentes Atmosféricos [g]
A1	105.792	4.857.073	3.642.805	280.229	662.190
A2	26.448	1.263.401	0	62.012	261.945
A3	9.280	151.057	113.293	9.906	220.648
A4	5.800	22.424	21.303	1.605	14.454
A5	5.800	28.798	27.358	2.061	17.789
A6	78.880	597.152	597.152	44.478	4.298

A partir dos indicadores da Tabela 5, foram calculadas as medidas de ecoeficiência (equação 1). Em seguida, aplicou-se a técnica de agregação conhecida como análise relacional *grey*. Os dados foram normalizados aplicando a equação 6, pois espera-se que o resultado seja o maior possível. Em seguida, estabeleceram-se os coeficientes relacionais *grey*, aplicando-se a equação 8. Considerou-se $\zeta = 0,5$. Por fim, calcularam-se graus de relacionamento *grey* por meio da equação 9. Para tanto, considerou-se que as medidas têm pesos iguais. Assim, chegaram-se aos resultados apresentados na Figura 1.

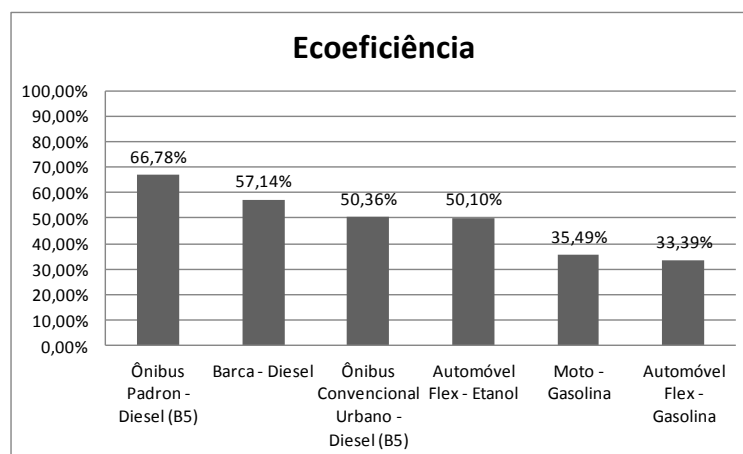


Figura 1: Ranking de ecoeficiência dos modos de transporte no trecho Rio x Niterói

Analisando a Figura 1, percebe-se que a alternativa com o melhor desempenho foi o ônibus *padron* com diesel B5 (A4), alcançando uma ecoeficiência de 66,78%. É importante ressaltar, entretanto, que A4 tem o melhor resultado quando comparado às demais alternativas consideradas. Porém isso não significa que ele seja o *benchmark*. Em seguida, os modos considerados mais ecoeficientes foram: barca, com índice de 57,14%; os ônibus convencionais (50,36%); os carros *flex* movidos a etanol (50,10%); as motos à gasolina (35,49%) e os carros *flex* à gasolina (33,39%).

Assim, nota-se que a baixa taxa de ocupação da barca e dos carros pode ter prejudicado seu desempenho. O carro *flex* à gasolina (A1), por exemplo, ficou na última posição, atrás, inclusive, das motos - que têm menor capacidade e estão entre as alternativas que mais emitem CO₂ em função do alto consumo de combustível. Cabe ressaltar que A1 é o modo mais utilizado para o transporte de passageiros no trajeto considerado, tornando este resultado ainda mais crítico. O impacto da baixa taxa de ocupação foi menor nos carros a etanol em função deste biocombustível ter uma taxa de emissão mais baixa que a gasolina.

Vale destacar ainda que, fazendo uma distribuição de Pareto, nenhuma das alternativas alcançou ecoeficiência superior (maior ou igual a 80%). As alternativas de transporte coletivo (ônibus *padron*, barca e ônibus convencional), que ocupam as três primeiras posições no *ranking*, ficaram com uma ecoeficiência mediana (entre 49% e 80%). As demais ficaram com uma ecoeficiência inferior (menor que 50%). Isso pode indicar que este conceito não é considerado relevante neste setor, do ponto de vista governamental.

Avaliando especificamente o desempenho das barcas nota-se que, embora seja o modo de maior capacidade, ocupou apenas a segunda colocação. Esperava-se que o modo aquaviário apresentasse o melhor desempenho dentre todas as alternativas em função de sua alta capacidade. Porém, confirmando os resultados de Silva *et al* (2014) isso não foi observado na avaliação realizada. Dessa forma, a fim de verificar se o desempenho deste modo foi prejudicado pela sua baixa taxa de ocupação (32%), analisou-se o impacto da variação desta taxa na sua posição no *ranking* de ecoeficiência. Para tanto, considerou-se a variação de 0,5% a 100% na ocupação da barca, mantendo-se a taxa dos demais modos constantes. O resultado está apresentado na Figura 2.

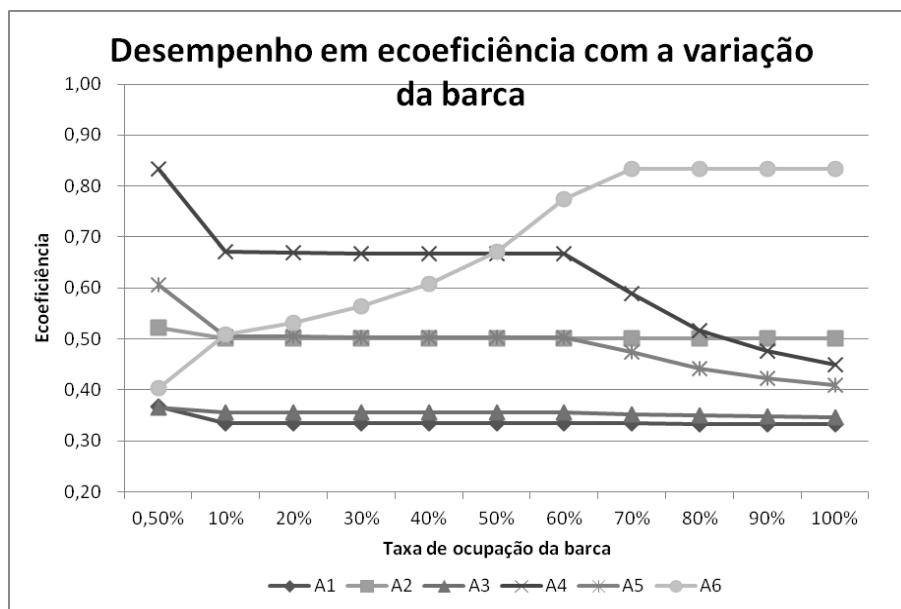


Figura 2: Desempenho em ecoeficiência dos modos de transporte com variação com a taxa de ocupação da barca

Analisando a Figura 2, percebe-se que até 40% de ocupação, a barca mantém sua posição no *ranking*. Com 50%, passa para a primeira posição, contudo alcança um índice de desempenho de 67,1% contra 66,8% do ônibus *padron*. Em 60%, ela se distancia do segundo colocado (ônibus *padron*), mas continua com uma ecoeficiência mediana (77,4%). Em 70% de

ocupação, a barca alcança seu maior índice (83,7%), passando para o grupo de ecoeficiência superior. Para valores de ocupação superiores a 70%, o índice de desempenho se mantém o mesmo (83,7%). Isso indica que uma ocupação de 70% é suficiente para que a barca alcance seu melhor desempenho, passando ao patamar de “ecoefficiência superior”.

É importante destacar que, com a melhoria do desempenho da barca, a *performance* dos demais modos piora - embora a taxa de ocupação destes se mantenha a mesma, já que a técnica utilizada faz uma análise comparativa. A partir 60% de ocupação da barca, o desempenho de A4 (ônibus *padron*) piora, ficando na 3ª posição em um cenário hipotético em que a barca alcance mais de 90% de ocupação. Ou seja, a partir de uma ocupação de 80% da barca, o desempenho do carro a etanol passa a se destacar, quando comparado com o ônibus *padron*. Dentre os modos alternativos à barca, apenas o carro a etanol praticamente não tem seu desempenho influenciado pela melhoria da ocupação das barcas.

Dessa forma, foram levantadas, na literatura nacional e internacional, ações que poderiam ser aplicadas ao trecho analisado a fim de melhorar a ocupação das barcas. Dentre os fatores apresentados na tabela 6, aplicam-se ao caso estudado: (1) altas tarifas - é a segunda tarifa mais cara do mundo (Revista Extra, 2013); (2) falta de integração modal; (3) ausência de estacionamento; (4) Terminais precários em infraestrutura - há, por exemplo, desníveis na plataforma; (5) portões insuficientes para embarque e desembarque - estes são feitos simultaneamente, mas pela mesma plataforma; (6) baixo padrão de atendimento - representado pelas filas e pelo alto tempo de espera nos horários de pico e (7) aumento da utilização dos carros em função da sua maior flexibilidade.

Tabela 6: Ações para melhoria na taxa média de ocupação dos modos de transporte coletivos

Autor	Local	Taxa	Período	Modo	Causas prováveis	Ações de melhoria
ANTAQ (2013)	Amazonas (Brasil)	55%	2001 a 2013	Fluvial	Tecnologia ultrapassada; terminais precários de infraestrutura; falta de integração modal;	Elaborar um layout operacional que atenda às necessidades dos usuários; acessibilidade; Integração modal; estacionamentos.
	Amapá (Brasil)	43%	2002 a 2013	Fluvial	Problemas de infraestrutura e segurança	Disponibilizar pontos de atendimentos, quadro de horários e informações; Aumentar a segurança.
	Pará (Brasil)	58%	2003 a 2013	Fluvial	Terminais precários em infraestrutura; portões insuficientes para embarque e desembarque; baixo padrão de atendimento	Melhorar a infraestrutura; implementar novos terminais; oferecer atendimento eficiente e eficaz
Costa (2007)	Lisboa (Portugal)	-(1)	1988 a 2005	Ferrovário/ Fluvial/ Rodoviário	Falta de integração; redução da população e do número de empregos; aumento no uso de carros; construção da ponte.	Integrar outras áreas da cidade; disponibilizar infraestruturas para diminuir tempo de locomoção.
Hossain e Iamtraku (2007)	Bangkok (Tailândia)	-(2)	1999 a 2005	Fluvial	Acessibilidade inadequada; baixa segurança.	Melhorar os pontos de embarque e desembarque, instalar equipamentos de segurança.

Tabela 6: Ações para melhoria na taxa média de ocupação dos modos de transporte coletivos (continuação)

Autor	Local	Taxa	Período	Modo	Causas prováveis	Ações de melhoria
Kamen e Barry (2006)	São Francisco (EUA)	50%	2005	Marítimo	Preço elevado; falta de estacionamento e de integração modal.	Bilhete único; construção de estacionamentos com acesso a área de embarque; integração modal
Marques (2011)	Lisboa (Portugal)	47%	1976 a 2011	Fluvial	Altas tarifas, baixa capacidade de transporte, estrutura sucateada, altos gastos com manutenção.	Modernizar as frotas (maior capacidade), diminuindo os custos de manutenção e combustível; redução de tarifas.
Ryus (2013)	Brisbane (Austrália)	-	2013	Fluvial	-	Pagar a passagem a bordo, com dinheiro ou pela validação do ticket.
	Sidney (Austrália)	-	2013	Fluvial	-	Embarcar e desembarcar de forma simultânea. ⁽³⁾
	Vancouver (Canadá)	-	2013	Fluvial	-	Embarcar e desembarcar de forma simultânea. ⁽³⁾
Santos e Paulin (2011)	São Paulo (Brasil)	_(2)	2006 a 2011	Aéreo	-	Promoções e descontos em horários de baixa ocupação.

Nota: "-" significa "não citado". (1) Apenas menciona que houve uma redução; (2) Diz haver uma baixa taxa de ocupação, mas não a mensura e (3) O embarque e desembarque é simultâneo, mas por plataformas diferentes.

Com base na Tabela 6, para aumentar a taxa média de ocupação das barcas, indicam-se as possíveis soluções listadas na Tabela 7.

Tabela 7: Ações para melhoria da taxa média de ocupação das barcas no trecho analisado

Problema	Possível solução
Integração modal	Integração ônibus x barca; estacionamento para carros, motos e bicicletas
Tarifas altas	Extensão do bilhete único a este modo de transporte; descontos para idosos e estudante; descontos nos períodos de baixa movimentação
Baixo padrão de atendimento	Vendas de bilhete online e/ou vendas/validação dos bilhetes a bordo a fim de reduzir as filas; uso de barcas de maior capacidade nos horários de pico visando a redução no tempo de espera; pontos de informação; terminais climatizados e que proteja das intempéries
Infraestrutura	Plataformas separadas para embarque e desembarque; nivelamento das plataformas

Ressalta-se, contudo, que um aumento na taxa de ocupação mantendo-se o número de passageiros transportados, implica em uma redução no número de veículos circulando, o que pode prejudicar o seu nível de serviço. Portanto, torna-se necessário um estudo mais abrangente a fim de se verificar o quanto a demanda aumentaria se tais medidas fossem aplicadas e qual seria a taxa de ocupação ideal para atendê-la a um nível de serviço considerado adequado pelos usuários.

5. CONCLUSÕES

Ao longo do estudo, pôde-se perceber que dentre os modos de transporte de passageiros disponíveis para o trajeto Rio - Niterói, o ônibus *padron* a diesel B5 é aquele que tem o melhor desempenho em termos de ecoeficiência - embora tenha alcançado níveis medianos. Cabe ressaltar que este modo ficou à frente da barca, que tem a maior capacidade, mas uma

taxa média de ocupação de apenas 32%.

Notou-se também que o ônibus convencional tem um desempenho muito semelhante ao do carro a etanol, o que também poderia ser explicado pelas taxas de ocupação (96% contra 23%), embora este não tenha sido o foco do estudo. Além disso, percebeu-se que o carro a gasolina, embora seja a alternativa mais usada, é aquela que tem o pior desempenho.

Assim, levando-se em conta que a barca é a alternativa de maior capacidade e que se encontra subutilizada (68% de ociosidade), analisou-se o impacto da variação na sua taxa média de ocupação a fim de verificar em que ponto ela se tornaria mais adequada. Notou-se que, a partir de 50% ela passa para primeira colocação, ficando bem próxima do ônibus *padron*. A partir de 70% de ocupação, ela alcança seu maior nível de desempenho (83,7%), mantendo-se constante a partir de então.

Assim, foram levantadas na literatura ações que poderiam promover uma maior utilização da barca, destacando-se aquelas relacionadas à integração modal, à tarifa, ao padrão de atendimento e à infraestrutura, considerados gargalos do terminal estudado. Destaca-se que o incentivo ao uso da barca pode ser considerado uma política importante, pois ajudaria a reduzir o tráfego motorizado na ponte Rio-Niterói que, hoje, sofre com congestionamentos. Além disso, proporcionalmente ao número de passageiros transportados, é o modo com maior probabilidade de alcançar um melhor índice de eficiência energética e menores emissões atmosféricas, caso aumente-se sua taxa de ocupação.

Como limitação, cita-se a utilização de dados estimados com base na literatura e/ou entrevista uma vez que o registro exato da movimentação de passageiros neste trecho não é amplamente divulgada. Segundo relatório da Agência Nacional de Transporte Terrestre - ANTT (2011), a concessionária que administra a ponte, por exemplo, não realiza estudos de tráfego. Em função disso, não foi possível definir precisamente quais das viagens são centro a centro.

Para novos estudos, sugere-se verificar o impacto da variação na taxa de utilização dos demais modos de transporte, uma otimização a fim de verificar qual configuração seria mais adequada para o sistema de transporte do trecho analisado (considerando as alternativas existentes e em projeto) e o levantamento de propostas de melhorias para todos os modos que tem baixa taxa de ocupação. Além disso, torna-se necessário um estudo verificar o quanto a demanda aumentaria se as medidas propostas na Tabela 7 fossem aplicadas e qual seria a taxa de ocupação ideal para atender a demanda a um nível de serviço considerado adequado pelos usuários.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de aperfeiçoamento concedida e à FAPERJ pelo fomento ao projeto E-26/112.459/2012.

REFERÊNCIAS

- ANTAQ (2013) *Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros da região amazônica*. Brasília.
- ANTP (1997) *Transporte Humano: Cidades com qualidade de vida*. São Paulo.
- ANTT (2011) *Rodovias Federais Concedidas - Relatório 2011*. Brasília
- Bischoff, E. (2008) *Estudo da Utilização de Algoritmos Genéticos para seleção de redes de acesso*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF.
- EPE (2012) *Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011*. Brasília.

- IEA (2012) *Key World Energy Statistics 2012*.
- IPEA (2011) *Transporte e Mobilidade Urbana*. Brasília.
- Braungart, M.; McDonough, W.; Bollinger, A. (2007) Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p.1337 -1348.
- CNT (2012) *A importância do setor de transporte*. Brasília.
- CCR (2013) Entrevista feita com representante da empresa.
- Costa, N. M. S. M. (2007) *Mobilidade e Transporte em Áreas Urbanas - O caso da Área Metropolitana de Lisboa*, Tese de Doutorado em Geografia/ Universidade de Lisboa.
- Deng, J. (1989). Introduction to grey system theory. *Journal of Grey Systems*, 1, pp. 1-24.
- Fiksel, J. (1996) *Design for environment: creating eco-efficient products and processes*. McGraw-Hill.
- Fogliatti, M. C., Filippo, S. e Goudard, B. (2004) *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Guabiroba R. C. S., D'Agosto, M. A., Leal Junior, I. C., Vieira da Silva, M. A. (2014) Eco-efficiency as an auxiliary measure for the definition of interregional public consortia responsible for the collection of recyclable domestic waste. *Journal of Cleaner Production*, V. 68, p. 36 - 45
- Guimarães, V. A.; D'Agosto, M. A.; Leal Junior, I C.; Silva, M. A. V.; DeCastro, J; Franca, L. S. (2013a). Análise da evolução da eficiência energética no setor de transporte brasileiro. *XXVII ANPET*, Belém
- Guimarães, V. A.; Leal Jr (2013b) Análise do desempenho ambiental de terminais de contêineres pela ótica da ecoeficiência. *III CASI*, Penedo.
- Hossain. M.; Iamtrakul, P. (2007) Water Transportation in Bangkok: Past, Present, and the Future. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, volume 5, issue 2.
- Leal Jr, I. C. (2010) *Método de Escolha Modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência*. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- Leal Jr., I. C.; Garcia, P. A; D'Agosto, M. A. (2012) A data envelopment analysis approach to choose transport modes based on eco-efficiency. *Environment, Development e Sustainability*, v.14, n.5, p. 767-183.
- Leal Junior, I. C. Guimarães, V. A. (2013). Análise da ecoeficiência nas operações de terminais portuários com a aplicação de técnica de auxílio multicritério à decisão. *Revista Transportes*. v.21, p.40-47.
- Kamen, P.; Barry, C. D. (2006) *Urban Passenger-Only Ferry Systems: Issues, Opportunities and Technologies*. Society of Naval Architects and Marine Engineers, Annual Proceedings. São Francisco, US.
- Manhein, L. M. (1980) Understanding Supply in Transportation Systems. *Transportation Research*, vol. 14A, p. 119-135.
- Marques, M. R. M. (2011) *Gestão dos transportes da marinha*. Trabalho de Investigação Individual do CPOS-Marinha, IESM, Lisboa.
- Mickwitz, P.; Melanen, M.; Rosenström, U; Seppälä, J (2006) Regional eco-efficiency indicators e a participatory approach. *Journal of Cleaner Production*, v.19, p.1603 – 1611.
- MME (2012) *Estudo associado ao plano decenal de energia: PDE 2021*. Brasília.
- Morlok, E. K. (1980) Types of Transportation Supply Functions and Their Applications. *Transportation Research*. 14B, Great Britain, pp. 9-27
- Pereira, L. F. R. (2005) *Aspectos Conceituais da Ecoeficiência no Contexto do Desenvolvimento Sustentável*.
- Petkow, M.; Almeida, V. L. (2005) Ecoeficiência e o desenvolvimento sustentável: um estudo de caso em um hotel certificado pela ISO 14001. *XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção*, Porto Alegre.
- Ryus, P. (2013) *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. 3rd Edition, Ferry Transit Capacity, Research Agency: Kittleson & Associates.
- Santos, T. B.; Paulin, A. (2011) *O problema dos assentos vagos no transporte aéreo brasileiro – estudo de caso do aeroporto Bauru/Arealva*. Graduação em Logística e Transportes, Faculdade de Tecn. de Jahu.
- Schafer, A. & Victor, D. (1997), The Past and Future of Global Mobility, *Scientific American*, p 36 – 39
- Silva, S. S; Leal Jr., I. C.; Guimarães, V. A.; Garcia, P. A. A. (2014) Modal Choice Method to passenger transportation based on ecoefficiency measures. XI CIT, Santander.
- Silva, E. L.; Menezes, E. M. (2001) *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3ª ed. rev. Atual. Florianópolis: UFSC.
- WBCSD (2000) *Measuring Eco-Efficiency: A Guide to Reporting Company Performance*. Geneva, Suíça.
- _____. (2006) *Eco-efficiency learning module*. Alemanha.
- Wen, K. (2004). *Grey Systems: Modeling and Prediction*. Printed in USA by Yang's Scientific Press.

Vanessa de Almeida Guimarães (vanessaguim@hotmail.com); Ilton Curty Leal Junior (iltoncurty@gmail.com)
 Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGA, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense. Rua Desembargador Ellis Hermydio Figueira, 783, Bloco A, Sala 304 - Aterrado - Volta Redonda. CEP: 27.213-145