

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA RELATIVA DAS LINHAS DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO UTILIZANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E ANÁLISE ESPACIAL

Marcelo Vinaud Prado
Francisco Gildemir Ferreira da Silva
Yaeko Yamashita PhD.
Universidade de Brasília

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para análise da eficiência técnica de linhas de transporte urbano, levando em consideração o contexto espacial. Utilizando a técnica de análise envoltória de dados (DEA) e calculou-se a eficiência relativa das linhas segundo seus insumos e produtos. A partir das informações produzidas foram gerados mapas temáticos utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para análises cruzadas da eficiência em relação a dados sócio-econômicos e da rede de transportes de uma cidade de médio porte. Como resultado obteve-se um método de aplicação simplificada, que pode auxiliar tanto na gerência das empresas de transporte urbano como aos gestores públicos na regulação do sistema de transportes públicos urbanos.

ABSTRACT

This paper presents a methodology to efficiency analysis of urban transportation system in a spatial context. The DEA – Data Envelopment Analysis is used in order to compute relative efficiency of urban bus line considering inputs and outputs. The results of DEA are used to develop thematic maps using a GIS - Geographic Information System. An overlay analysis is done using social economic and transportation network data for middle size cities. A simplified method is obtained in order to support operators of urban transportation management and also transport authority in regulation of urban transportation system.

1. INTRODUÇÃO

Como serviço público de cunho essencial, o transporte urbano de passageiros por ônibus é regulado pelo poder público, com a finalidade de garantir padrões mínimos de oferta dos serviços, no que diz respeito a linhas, horários, frequência, manutenção dos veículos, confiabilidade, conforto, segurança, etc. (Bicalho, 1998). Porém, a inexistência de um sistema permanente de monitoramento e controle de desempenho das empresas operadoras, por parte do poder concedente, tende, em geral, a fazer com que estas também não dediquem grande esforço na avaliação de seu próprio desempenho.

No cenário atual, dificilmente uma empresa operadora poderá atingir bons resultados, sem dar importância aos desejos e necessidades da sociedade, bem como à avaliação do seu próprio desempenho para sobrevivência em um mercado competitivo. Com isso as empresas operadoras do transporte público vêm reorganizando suas estruturas de produção, buscando maior eficiência em seus processos e estabelecendo mecanismo para redução de seus custos operacionais. Por outro lado, os órgãos gestores também vêm passando por mudanças, que permitem extrapolar a avaliação da qualidade centrada originalmente em índices operacionais, para sistemas de avaliação amplos que incluem remuneração por desempenho operacional, qualidade e satisfação do usuário (Bertozzi e Lima Jr., 1998).

O uso da plataforma SIG (Sistema de Informação Geográfica) em conjunto com a Análise Espacial (AE) e metodologia DEA (Análise Envoltória de Dados), podem auxiliar na avaliação da eficiência das Linhas operadas no Transporte Público Urbano de Passageiros por ônibus. Para tal, o presente trabalho apresenta uma metodologia de avaliação da eficiência do transporte público, onde inicialmente definiu-se eficiência para o transporte público urbano, na sequência, são apresentadas a metodologia DEA e a Análise Espacial. Por fim aplica-se a proposta metodológica a uma cidade de médio porte.

2. A EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

A eficiência econômica na produção de um bem ou serviço diz respeito à produtividade que, segundo Ferraz e Torres (2001), é expressa, de maneira geral, pela relação entre o produto obtido e os insumos gastos na produção. No caso do transporte público, os produtos são as viagens ofertadas e os insumos são: veículos, pessoal, combustível, pneus, peças e acessórios, lubrificantes etc., ou seja, dado um padrão de qualidade do produto ou serviço, uma maior eficiência técnica significa um custo final menor. Para que a eficiência econômica seja máxima (o custo mínimo) no transporte urbano, em princípio, deve-se: reduzir ao mínimo a distância de transporte, utilizar a máxima velocidade possível e empregar veículos com o máximo de capacidade.

De acordo com Ferraz & Torres (2001), os fatores que afetam a eficiência técnica dos sistemas de transporte público urbano por ônibus são: tamanho dos veículos, estado das vias, distância entre paradas, tipo de prioridade nas vias, utilização da frota, configuração da rede e traçado das linhas, programação da operação, morfologia e topografia da cidade etc. Para avaliação da eficiência técnica operação do sistema de transporte público urbano por ônibus, verifica-se na tabela 01, onde são apresentados os intervalos de variação considerados em geral satisfatórios para os principais índices de medida da eficiência do transporte público urbano por ônibus.

Tabela 01: Intervalos de variação satisfatórios para os principais índices de eficiência. **Fonte:** Ferraz e Torres (2001).

Parâmetro	Valores aceitáveis
Índice de quilômetros por veículo(km/veí/dia)	250-350
Índice de aproveitamento da frota (%)	87-91
Índice de mão-de-obra (func/veí)	Sem cobrador = 3,1-4,3
Motoristas ou cobradores (emp/veí)	Com cobrador = 5,2-7,1
Pessoal de controle da operação (emp/veí)	2,1-2,8
Manutenção (emp/veí)	0,2-0,4
Administração (emp/veí)	0,7-0,9
Índice de passageiros por quilometro (pass/km)	1 – 2
Índice de passageiros por veículo (pass/veí/dia)	Ônibus comum= 600-1.300 Microônibus = 300-600

Segundo Bertozzi e Lima Jr. (1998), a integração entre as visões de qualidade dos usuários, operadores e gestores, permite ao sistema de transporte público uma nova condição de operação, ampliando a sua qualidade e eficácia. Os principais critérios de avaliação, para o transporte público, na visão do usuário, são: confiabilidade, responsabilidade, empatia, segurança, tangibilidade, ambiente, conforto, acessibilidade, preço, comunicação, imagem, momentos de interação.

Em se tratando da visão do operador do serviço, a avaliação da eficiência requer o estabelecimento de objetivos claros e a especificação de indicadores apropriados (Fielding *et al.*,1978). Um objetivo de eficiência interna de uma empresa de transporte é a minimização de custos no fornecimento de serviços. Os níveis de recursos empregados por uma empresa de transporte provavelmente serão afetados pelos níveis de suas opções de operação como: frequência (headway), confiabilidade (chegada na parada no horário), acessibilidade (conveniência espacial do serviço - número de rotas e paradas), velocidade do serviço; características da qualidade de serviço (ex: tempos em trânsito e de espera, como percebido pelos passageiros) e número de passageiros a serem transportados (Talley,1988).

Já Waisman (1985) retrata que, a eficiência para o transporte público, sob o ponto de vista do operador, pode ser avaliada através da velocidade; frequência; regularidade; número de linhas; horas de operação; lotação dos veículos; treinamento com motoristas; programas internos de qualidade; redução de custos operacionais, administrativos e de manutenção.

Segundo Berechman & Giuliano (1984), na maioria dos estudos prévios examinados foram utilizadas medidas relacionadas a serviço e capacidade tais como ônibus-milhas ou ônibus-horas. Em geral, tais medidas são altamente correlacionadas com os principais fatores de custo de insumos, tais como trabalho e combustível. Poucos estudos prévios lançaram mão de medidas relacionadas à demanda, tais como passageiro-viagens ou passageiro-receita.

3. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma operacionalização da medida de eficiência técnica de Farrell (1957) através de programação matemática. Permite obter a eficiência técnica relativa de Unidades Tomadoras de Decisão (UTD's) que utilizam múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos.

O DEA permite medir a eficiência (ou a ineficiência) em um conjunto observado de unidades produtivas, se for possível mostrar que, a partir de uma UTD relativa, nenhuma outra unidade ou combinação linear das demais unidades consegue gerar maior quantidade de um produto, respeitando a eficiência de Pareto. Assim, a metodologia DEA possibilita identificar a fronteira de produção empírica, com base nas unidades de melhor prática, e assim prover um conjunto de referência para as unidades ineficientes, que servem para fornecer escores de (in)eficiência e sugerir metas múltiplas para o alcance da eficiência. Porém, Seiford (1994), indica que esta metodologia não fornece qualquer estimativa probabilística, nem as causas da ineficiência e nem as medidas de eficácia ou eficiência absoluta.

O CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) ou CRS (Constant Returns to Scale) é modelo originalmente proposto por Charnes et al. (1978) e se aplica à unidades que trabalham com tecnologias de retornos constantes à escala. Este modelo permanece ainda hoje como um dos mais amplamente estudados e aplicados (Dulá e Hickman, 1997), sendo sua formulação descrita por:

$$Max \quad \theta_{k0} - \frac{\sum_j u_j y_{jk}}{\sum_i v_i x_{ik}} \quad (1)$$

Sujeito as restrições:

$$\frac{\sum_j u_j y_{jk}}{\sum_i v_i x_{ik}} \leq 1 \quad para \quad k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_j, v_i \geq \varepsilon \quad e \quad (3)$$

Onde θ_{k0} representa a taxa de eficiência da unidade K0 em análise; u_j é o valor atribuído ao produto j; v_i é o valor atribuído ao insumo i; y_{jk} representa a quantidade produzida do produto j pela unidade k, x_{ik} representa a quantidade consumida do insumo i pela unidade k e ε é o número infinitesimal não euclidiano e maior que zero. A equação (1) é resolvida, segundo as restrições (2) e (3), uma vez para cada UTD, encontrando sua taxa de eficiência relativa, isto é, quão

eficientemente aquela unidade está transformando seus insumos em produtos, em comparação às demais unidades do conjunto observado. Uma UTD será eficiente se θ for igual a 1.

A aplicação do método deve considerar três fases no estudo de medida de eficiência:

- definição e seleção das Unidades Tomadoras de Decisão (UTD) para análise;
- determinação de variáveis de insumos e produtos que são relevantes e apropriados para avaliar a eficiência relativa das UTD selecionadas;
- aplicação do modelo DEA e análise dos resultados.

O método DEA exige que as unidades façam parte de um conjunto homogêneo, onde comparações das UTDs façam sentido. Um grupo de unidades pode ser homogêneo para atender aos objetivos do DEA quando as unidades em consideração desempenham as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos; as variáveis (insumos e produtos) que caracterizam o desempenho de todas as unidades do grupo, são iguais, exceto por diferenças de intensidade ou magnitude.

De acordo com Johnes (1993), uma das limitações da metodologia DEA está relacionada à possibilidade de uma unidade tomadora de decisão (UTD) vir a tornar-se eficiente pelo fato de conseguir encontrar uma estrutura de pesos que a leve à fronteira e não por sua “real” eficiência. Porém, esta desvantagem transforma-se em uma vantagem quando a metodologia aponta unidades ineficientes que mesmo com a chance de escolher a estrutura de pesos que mais lhe favoreça não consegue alcançar a eficiência, isto é, pode ter-se grande confiança em que tais unidades são realmente ineficientes.

4. ANÁLISE ESPACIAL

A Análise Exploratória de Dados Espaciais faz parte da Análise Espacial (AE) que tem como objetivo o estudo quantitativo de fenômenos que são localizados no espaço, permitindo identificar padrões espaciais na distribuição dos fenômenos. Câmara, *et.al. apud* Teixeira (2003) definiu AE como qualquer processo de apresentação, manipulação, análise, inferência e estimação de dados espaciais. Ainda segundo o mesmo autor, dados espaciais podem ser representados como pontos, áreas, linhas ou superfícies, ou como campos e objetos, possuindo técnicas próprias de análise integradas em uma plataforma SIG.

Câmara *et. al.* (2000) indica que as observações de dados espaciais são modeladas, classificadas e analisadas em três grupos: análise de padrões pontuais, análise de dados em áreas, análise de superfícies e análise de redes. As representações de dados em áreas e em rede são as formas mais importantes e difundidas para a representação de dados sócio-econômicos e de transportes, embora os dados em área apresentem aspectos críticos para sua análise. Manipulando e selecionando características de mapas podem-se verificar relações espaciais. Estas servem de indício para os passos seguintes de análise exploratória e sequencialmente a confirmatória.

5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA RELATIVA DAS LINHAS DE TRANSPORTE URBANO.

A determinação dos insumos e produtos a usar quando da utilização da metodologia DEA é um problema bastante frequente na bibliografia. Norman & Stoker(1991) propõem o uso de análise de correlação para eliminar variáveis redundantes enquanto que Stern et al(1994) propõem o uso de análise canônica para este fim. Assim, para a escolha do modelo, é importante considerar sua significância estatística, buscando também evitar os problemas de multicolinearidade e homocedasticidade das variáveis.

Outro ponto importante da etapa de seleção de variáveis é a busca de um modelo de referência, que descreva as relações de produção que governam as UTD's a serem analisadas. Neste sentido, é interessante buscar na literatura, fatores já validados, reduzindo o ônus de um processo completo de validação. Para ajudar nesta seleção, as seguintes perguntas podem ser feitas.

- A variável selecionada contribui para os objetivos da avaliação?
- A variável carrega informações pertinentes não incluídas em outras?
- Os dados referentes à variável estão disponíveis e são confiáveis?

Considerando as diretrizes apresentadas, formulou-se a seguinte estrutura:

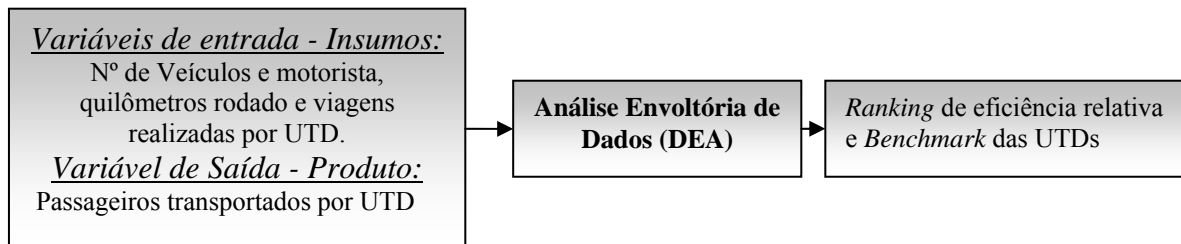


Figura 01 – Modelo DEA para Análise da Eficiência Técnica Relativa das Linhas de Transporte Urbano por ônibus.

Os Inputs e o output escolhidos são base para o cálculo de índices de desempenho já consagrados na literatura, tais como os expostos na Tabela 01. Estas variáveis estão relacionadas com os insumos e produtos de uma linha de ônibus e serviram para alimentar um modelo DEA tipo CCR. A partir do processamento do modelo DEA, obtém-se *rankings* e *benchmarks* de eficiência técnica relativa das UTDs.

Escolhido os insumos e os produtos, alimenta-se o modelo DEA. O objetivo é de verificar a eficiência das UTDs analisadas e estabelecer um “ranking” de eficiência técnica relativa entre as unidades, que servirá para etapa que segue, que é fornecer dados para o Sistema de Informações Geográficas. Ao alimentar o SIG, cria-se a possibilidade de verificar as possíveis relações espaciais que geram subsídios para propostas de melhoria da eficiência da linha. Assim, a análise da eficiência agrega além do numérico o espacial, onde, a partir de uma análise exploratória, usando-se seleções, manipulação de mapas e cruzamentos de informações das UTDs com dados sócio-econômicos, pode-se verificar possibilidades de rearranjo do sistema de transportes.

6. ESTUDO DE CASO: ANÁPOLIS

O município de Anápolis é o segundo mais importante no estado de Goiás, localizado a 50 Km de Goiânia e a 150 Km de Brasília. Segundo o censo populacional de 2000 do IBGE, 274 mil vivem na área urbana, representando 95,1% da população do município. A cidade apresenta uma estrutura urbana monocêntrica (Figura 2), típica de cidades deste porte, e tem sua área urbana dividida pelo IBGE em 262 setores censitários.

Apenas uma empresa operadora tem concessão para fornecer o serviço de transporte urbano por ônibus. A cidade possui um único terminal de ônibus urbano, localizado no centro da cidade, e praticamente a totalidade das cerca de 120 linhas existentes são radiais, havendo integração tarifária dentro do terminal. Apesar da existência de transporte alternativo por vans, este serviço não é regulamentado, ocorrendo de forma irregular. A cidade conta ainda com uma frota de automóveis privados de cerca de 32.000 veículos.

A cidade apresenta parcela significativa de viagens a pé e bicicleta (37,5% e 7,34%, respectivamente), em detrimento de modos motorizados (22,2% de automóvel privado, 23,6% de ônibus e 5,2% de moto).

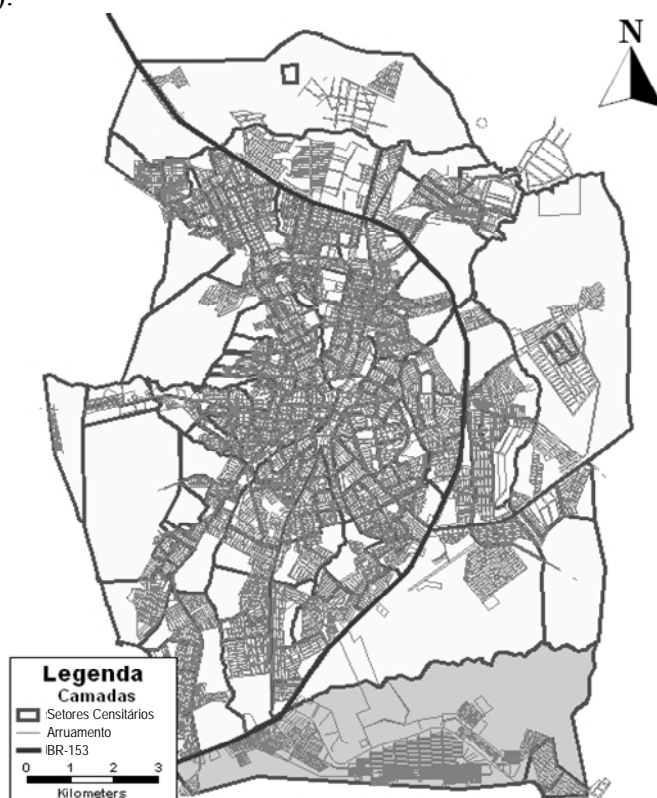


Figura 2 – Estrutura Urbana Monocêntrica de Anápolis

As unidades tomadoras de decisão analisadas no presente trabalho são as 102 linhas de transporte coletivo urbano por ônibus operadas por uma única empresa. A empresa opera toda a rede de transporte urbano de Anápolis em regime de monopólio, sendo que a avaliação de sua operação reflete a eficiência técnica relativa do transporte urbano de Anápolis. Assim, após o processamento dos dados no modelo DEA, conforme figura 1, obteve-se uma distribuição de frequência que serviu para diagnosticar o sistema quanto à eficiência técnica do ponto de vista do operador, o que pode ser verificado na Figura 3.

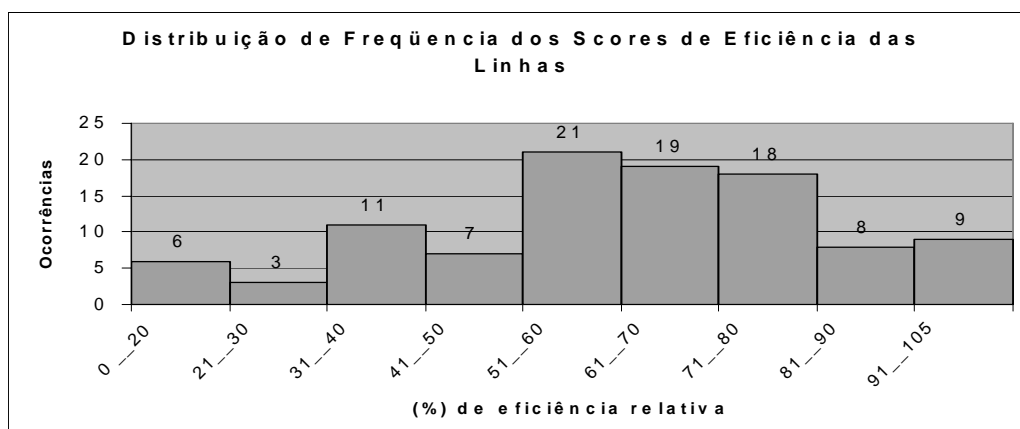


Figura 3 – Distribuição de frequência dos Scores de Eficiência das linhas de transporte urbano de passageiros da cidade de Anápolis.

Como resultado obteve-se que mais de 73,5% das linhas possuem eficiência relativa acima de 50%, sendo que a média de eficiência encontrada foi de 60,3%, com desvio padrão de 0,23. As maiorias das linhas operadas apresentam combinação eficiente de insumos para produção de viagens. Assim, pode-se diagnosticar o Sistema de Transporte Público de Anápolis como eficiente na visão do operador do sistema, pois apresenta combinação de insumos adequada em relação ao volume de passageiros transportados.

6.1 Análises da eficiência técnica relativa das UTDs no contexto espacial.

A partir das informações geradas com o processamento do modelo DEA, foram feitas análises comparativas com outras variáveis, tais como distribuição de renda e IPK, através de mapas temáticos. Na figura 4 podemos verificar a distribuição espacial da rede de transporte urbano em relação à renda per capita do município. Esta observação dá subsídios para entender a concentração das linhas em regiões mais ricas e que geram maior número de viagens, servindo em etapa posterior para verificar se as linhas que atendem tais regiões são mais eficientes.

A fim de se verificar a efetividade da cobertura espacial em termos de acessibilidade ao usuário, foi gerado mapa temático considerando a área de influência das linhas ofertadas para uma cobertura de 300 m conforme figura 5, indicando uma cobertura da cidade pelo transporte adequada, visto que abrange toda a viária da cidade, embora com concentração nas áreas com maior renda per capita. A figura 6 apresenta a comparação das linhas com eficiência técnica relativa acima da média, em contraste com a cobertura espacial do sistema.

As linhas com eficiência técnica acima da média abrangem 100% da cobertura espacial da rede de transporte de Anápolis, caracterizando um planejamento operacional adequado da empresa. As linhas mais eficientes estão espacialmente situadas nos dois corredores de transporte que cortam a cidade no sentido leste oeste, onde se concentram o maior número de deslocamentos da rede de transporte, essas linhas possuem IPK médio acima de 3.

Como existem várias linhas superpostas nesses corredores, existem grandes evidências que a empresa operadora dimensiona seus recursos de uma forma bastante adequada (frota e motoristas) entre as linhas operadas.. As linhas com IPK médio e baixa eficiência abaixo da média encontrada nos dados analisados se concentram nos assentamentos urbanos mais recentes, que não fazem conexão com a BR 060, principal eixo de desenvolvimento da cidade.

Apesar de ser uma área de cobertura relevante, existem outras linhas com eficiência técnica acima da média que operam na maior parte da região destacada na figura 6, o que induz a conclusão de que as linhas com baixa eficiência tem a operação sustentada por essas outras linhas mais rentáveis. Ilustrando um caso atípico, a figura 7 representa linhas com IPK abaixo da média, sendo que, no entanto, possuem eficiência técnica relativa acima da média. Tal fato, a princípio, se mostra contraditório, visto que o output (produto) avaliado no modelo DEA proposto é o número de passageiros transportados. Podemos concluir que os recursos utilizados nessa linha são compartilhados com outras linhas no sistema, através de remanejamento em tempo de execução da operação. Apenas com uma combinação de recursos abaixo do mínimo proposto para a execução da operação das linhas em questão, um resultado semelhante poderia ser obtido.

As linhas mais eficientes estão concentradas em dois corredores de transporte que atendem, principalmente, as regiões com maior concentração de renda da cidade. As linhas ineficientes se concentram na Região mais nova da cidade (noroeste). Apesar de outras linhas consideradas

eficientes dentro da mesma região, conclui-se que essas compensam a operação das linhas abaixo da média, em termos de avaliação econômica.



Figura 04 – Linhas do Sistema de Transporte versus Renda per capita

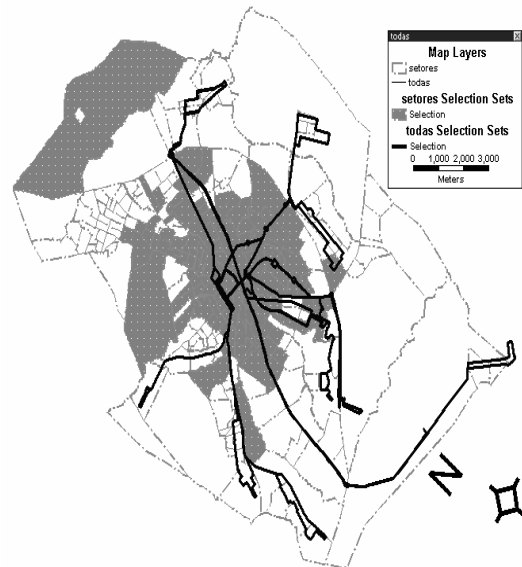


Figura 05 – Regiões de maior Renda per capita versus Linhas mais eficientes

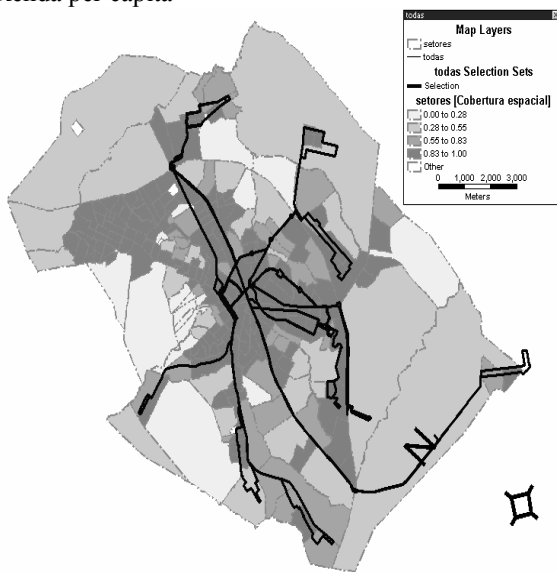


Figura 06 – Cobertura Espacial versus Linhas mais eficientes

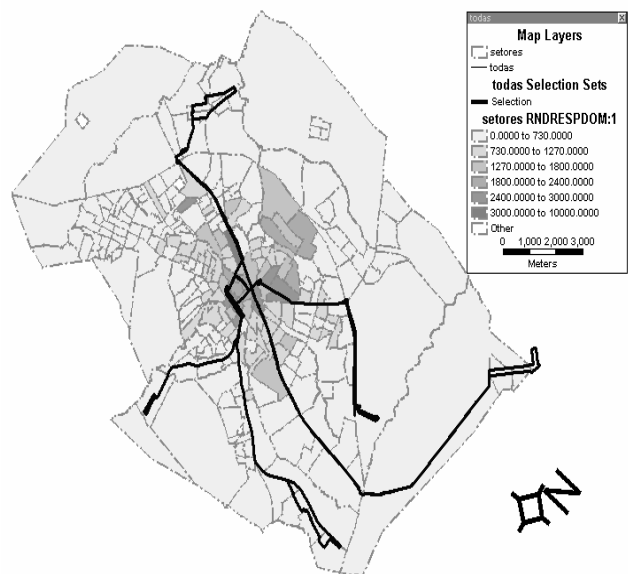


Figura 07 – Linhas com IPK abaixo da média e eficiência acima da média

Pode-se observar que com o uso da metodologia pode-se contribuir para a gestão do sistema de uma empresa, visto que fornece informações importantes sobre a disposição espacial da operação, tanto quanto da eficiência relativa das linhas. Outra aplicabilidade da proposta metodológica é na gestão de um sistema composto por várias empresas onde o gestor público poderia regular a eficiência das linhas aplicando a metodologia apresentada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertozi, Patrícia Pacheco & Lima Jr., Orlando Fontes. (1998) A qualidade no serviço de transporte público sob as óticas do usuário, do operador e do órgão gestor. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, ano 21, 4º trimestre.

- Berechman, Joseph & Giuliano, Genevieve. (1984) Analysis of the cost structure of an urban bus transit property. Transportation Research, USA, v. 18B.
- Bicalho, Marcos. (1998) A dívida social no transporte coletivo. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, São Paulo, ano 20, 3º Trimestre.
- Câmara, G.; Monteiro, A. M.; Carvalho, M. S. (2000) Análise Espacial e Geoprocessamento, In: Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos, Brasil.
- Charnes, A. , Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research.
- Dulá, J.H., Hickman, B.L. (1997) Effects of Excluding the Column being Scored from the DEA Envelopment LP Technology Matrix. Journal of Operational Research Society.
- Farrell, M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. J.R. Statist.Soc.
- Ferraz, A.C.P.; Torres, I.G.E. (2001) Transporte Público Urbano. São Carlos.
- Fielding, Gordon J., Glautier, Roy E. & Lave, Charles A. (1978) Performance indicators for transit management. Transportation, Netherlands.
- Johnes, G. (1993) Scale and Technical Efficiency in the Production of Economic Research. Applied Economics Letters.
- Pindyck, R. S., Rubinfeld, D. L., (1999) Microeconomia – 4 º ed. São Paulo, MAKRON Books
- Talley, Wayne K. (1988) An economic theory of public transit firm. Transportation Research, Great Britain, v. 22B, nº 1.
- Teixeira, G. L., (2003) Uso de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Seiford, L.M. (1994) DEA Tutorial. TIMS, Alaska.
- Waisman, J. (1985) Avaliação de desempenho de sistemas de ônibus, em cidades de porte médio, em função de sua produtividade, eficiência operacional e qualidade dos serviços. São Carlos, 1985. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, USP.

Marcelo Vinaud Prado (mvinaud@hotmail.com)

Francisco Gildemir Ferreira da Silva (gildemir@unb.br)

Yaeko Yamashita (yaeko@unb.br)

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Transportes, Brasília-DF.

CEP: 70910-900 Fone: (061)307-1409/ 2857