

Aplicação de Método de Análise Multicritério na Escolha de Traçado de Linhas de Ônibus de Transporte Público Utilizando Sistema de Informação Geográfica.

Application of Method of Multicriteria Analysis in Choice of Path Lines Bus Public Transportation Using Geographic Information System.

Jucemara Marques Godinho, - Agência de Regulação dos Serviços Públicos Concedidos de Mato Grosso- AGER/MT/Núcleo de Estudos de Logística e Transporte (NELT/FAET/UFMT)

Luiz Miguel de Miranda, - Universidade Federal de Mato Grosso/Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/Núcleo de Estudos de Logística e Transporte (NELT/UFMT) (mmiranda@ufmt.br)

Recebido: 27/03/2014, Aceito: 28/03/2014, Publicado: 08/05/2014

RESUMO: Este trabalho trata da aplicação de método de análise multicritério na escolha de traçado de linhas de ônibus de transporte público utilizando Sistema de Informação Geográfica e decorre de pesquisa desenvolvida no Projeto para Operação Integrada do Sistema de Transporte Coletivo do Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, efetuada pela COPPETEC/UFMT no âmbito do projeto para Operação Integrada do Sistema de Transporte Coletivo do Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande. Seu desenvolvimento se pautou em dar subsídios para racionalizar e organizar o sistema de transporte público no Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, com o foco na integração entre os sistemas existentes. O objetivo é escolher um sistema que introduza a racionalização no sistema de transporte por ônibus no Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, de tal modo que se alcance um equilíbrio entre a lucratividade dos operadores e a garantia da mobilidade dos usuários mediante a oferta de serviço de qualidade. Para tanto se conjugou o TransCAD com um método de análise multicritério envolvendo os três sistemas de transporte por ônibus (sistemas de ônibus urbano de Cuiabá, de Várzea e o intermunicipal entre essas duas cidades), que deverá levar a um novo desenho das linhas na área do Aglomerado Urbano (AGLURB).

Palavras-chave: Aglomerado Urbano, Cuiabá, Várzea Grande

ABSTRACT: This paper deals with the application of multicriteria analysis method in choosing tracing lines of public buses using Geographic Information System and results from research conducted at the Project for Integrated Operation of Public Transport System of Urban Cluster Cuiabá-Várzea Grande, made by COPPETEC / UFMT under the project for Integrated Operation of the Urban Mass Transportation System Cluster Cuiabá-Várzea Grande. Its development was based on giving subsidies to streamline and organize the system of public transport in the Urban Cluster-Lowland Grande Cuiabá, with the focus on integration between existing systems. The goal is to choose a system that enters the rationalization of the bus transportation system in the Urban Cluster Cuiabá-Várzea Grande, in such a form that achieves a balance between the profitability of operators and ensuring the mobility of users by offering quality service. For both conjugated is TransCAD with a method of multicriteria analysis involving the three systems of transportation by bus (urban bus systems of Cuiabá and Várzea Grande and intercity between these two cities), which should lead to a new drawing lines in the area Urban Cluster.

Keywords: Agglomerate Urban, Cuiabá, Várzea Grande.

PLANEJAMENTO TRANSPORTES

Ao longo da evolução das cidades o transporte tem sido uma importante via de integração entre os diversos povos e civilizações. Com o passar do tempo, surgiram os centros urbanos, os quais se tornaram focos constantes de atração populacional que, mais tarde, por questão de necessidade, impuseram a criação de projetos de urbanização com o intuito de planejar e orientar os serviços básicos de subsistência da população e a viabilização da locomoção por vias nas cidades. A essa

EM

problemática do crescimento deu-se o incremento do transporte coletivo urbano ligado ao crescimento da população.

Planejamento em Transporte Público

Segundo ANTP (1997) apud Napierala (2004) estudos apontam para o transporte coletivo como a única estratégia que desempenha um papel social e econômico relevante, pois: proporciona locomoção para aqueles que não possuem automóveis ou não podem dirigir (incluem-se pobres, idosos, crianças, adolescentes, deficientes,

etc.); alivia os congestionamentos, a poluição, sobretudo atmosférica, e o uso indiscriminado de energia, principalmente do petróleo, e reduz a necessidade de investimentos da construção de vias, estacionamentos, etc., permitindo a alocação de recursos em setores de maior relevância social, bem como uma utilização mais racional do solo urbano.

A principal preocupação do planejamento do sistema de transporte público deve ser a constante reavaliação do desempenho do sistema tanto dos parâmetros operacionais, como dos custos de transporte, na busca de um equilíbrio entre a manutenção de uma tarifa reduzida e a melhoria na qualidade dos serviços ofertados aos usuários. Para a obtenção desse equilíbrio é fundamental a conciliação de interesses de três grupos, com preocupações distintas quanto ao desempenho do sistema: usuários, operadores e poder público (EBTU, 1988).

Transporte Público por Ônibus

A programação operacional de transporte público por ônibus tem o objetivo de organizar a oferta de transporte para que possa atender os desejos de viagens das pessoas. A programação adequada é importante não apenas pelos aspectos econômicos, mas porque confere qualidade e confiabilidade ao serviço, garantindo transporte adequado aos usuários cativos e aumentando a atratividade do ônibus para usuários potenciais (EBTU 1988).

A programação da operação de ônibus envolve a definição dos seguintes aspectos: nível de serviço e características do serviço; tipo de linha (radial, diametral, circular, local, troncal, alimentadora, convencional ou seletiva); itinerário da linha e seus pontos de parada; tipo de veículo a ser utilizado; frequência do serviço e o horário de atendimento; informações para o usuário; integração com outras linhas; serviços e modos de transporte; tarifa e os pontos de seção (se for o caso).

INTEGRAÇÃO

A integração tem como objetivo aumentar a acessibilidade dos usuários ao sistema de transporte e aos destinos desejados. A forma e o local para a integração se realizar dependem dos modos envolvidos, da solução tarifária e institucional e dos volumes de veículos e passageiros. Quando a integração ocorre com o sistema de ônibus é comum a implantação de terminais urbanos.

A implantação do sistema integrado deve começar a ser considerada quando a cidade começa a apresentar situações como: crescimento acentuado; a necessidade da utilização de duas ou mais conduções por viagem que aumenta o custo de transporte para o usuário; as linhas já não conseguem atender aos desejos dos usuários; a demanda ultrapassa o limite operacional do modo de transporte e/ou o corredor de tráfego se encontra saturado; queda da qualidade do serviço e degradação ambiental.

Diante disso, a integração é uma possibilidade para reorganizar o sistema, pois elimina a superposição de linhas e as reorganiza, constituindo o planejamento prévio no que tange ao traçado de itinerários, sendo então, um fator de grande importância para o bom funcionamento do sistema integrado (CABRAL, 2004). As formas mais usuais de integração são: a física, a tarifária e a temporal.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA TRANSPORTES - - TransCAD

De acordo com Ferreira Filho (2006), as principais atividades de transporte em ambientes logísticos, que podem ser efetivamente atendidas pela ferramenta são: (a) definição de redes logísticas; (b) seleção de modos de transportes e de serviços correlatos; (c) planejamento de rotas, veículos e equipamentos; (d) análise e auditoria de valores de transportes; (e) avaliação de níveis de serviço de transportes; (f) gerenciamento de

transportes próprios ou terceirizados; (g) consolidação de cargas e cálculo de fretes; (h) emissão de documentação de transportes; (i) roteamento e monitoramento de veículos, e (j) programação de veículos.

Esse amplo leque de atividades esbarra num problema constante nos órgãos responsáveis pelo planejamento, operação e fiscalização do tráfego e do transporte público. É a inexistência de bases georreferenciadas de dados dos municípios e de regiões metropolitanas para que se possa utilizar o SIG – T. A solução é o *TransCAD*.

METODOLOGIAS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO

De acordo com Bana e Costa (1995), a tomada de decisão é uma atividade complexa e potencialmente das mais controversas, em que se tem de escolher não apenas entre alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, e por fim, considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar.

Segundo esse autor um processo de apoio à decisão é um sistema aberto do qual são componentes os atores e seus valores, e as ações e suas características. A atividade de apoio à decisão pode então ser vista como um processo de interação com uma situação problemática “mal estruturada” onde os elementos e suas relações emergem de forma mais ou menos caótica.

Assim, a tomada de decisão deve buscar a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do decisor e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2006).

É necessário então estruturar o processo segundo etapas.

Etapas da Análise Multicritério

A análise multicritério é desenvolvida em etapas que, de modo geral podem ser representadas da seguinte maneira:

formulação do problema; determinação de um conjunto de ações potenciais; elaboração de uma família coerente de critérios; avaliação dos critérios; determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação, e agregação dos critérios. O método proposto neste trabalho contempla esses aspectos.

O Método TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981, recebendo posteriores contribuições de Zeleny (1982). Foi melhorado pelos próprios autores em 1987 e mais tarde juntamente com Lai & Liu (1994), como relata Ollaguez (2006).

Segundo esses autores, o TOPSIS possui uma abordagem voltada para encontrar uma alternativa que seja a mais próxima da solução ideal e mais afastada da solução ideal-negativa em um espaço de computação multidimensional. Esse espaço de computação multidimensional é determinado pelo conjunto de critérios como sendo as dimensões. A solução ideal representa uma alternativa virtual com um conjunto dos melhores escores para cada critério e a solução ideal-negativa é uma alternativa virtual com os piores escores.

O método apresenta alguns apelos como simplicidade (o que implica na facilidade de aplicação) e modo como aborda um problema de decisão, comparando duas situações hipotéticas: ideal e indesejável (SALOMON, 1999). Possui também a vantagem de rapidamente identificar a melhor alternativa. A formulação matemática do método encontra-se descrita na metodologia do trabalho e as etapas do método de acordo com Warren (2006) são: matriz do problema; matriz normalizada; pesos; matriz ponderada; situação ideal positiva e negativa; distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (Δ^+), e situação ideal negativa e cada alternativa (Δ^-); cálculo do coeficiente de priorização (ϕ).

METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Problema

Para aplicar o método proposto foi definido o problema: o que é melhor para o equilíbrio do sistema de ônibus no Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, linhas com menores distâncias a percorrer ou menores tempo de viagem?

Características Gerais da Área de Estudo

O processo de expansão urbana resultou na conurbação de Cuiabá com a vizinha cidade Várzea Grande, formando o denominado Aglomerado Urbano Cuiabá - Várzea Grande onde residem aproximadamente 900 mil pessoas.

O sistema viário atual de Cuiabá pode ser tratado em duas partes: uma interna ao perímetro da Avenida Miguel Sutil e outra externa a esta artéria. A área interna, de ocupação mais antiga, caracteriza o desenho urbano com um sistema de vias tortuosas e de grandes declives. Na área externa, ocupada por loteamentos a partir de 1970, as vias seguem normas comuns de acordo com as exigências legais e a ocupação desenvolveu-se segundo eixos radiais. Como a expansão urbana além da Avenida Miguel Sutil ocorreu espontaneamente no sentido radial não houve previsão de anéis circulares.

O transporte coletivo em Cuiabá-MT é atendido pelo modo ônibus, com operação privada, distribuído em linhas municipais e linhas intermunicipais até Várzea Grande.

Além disso, operam também linhas municipais de micro-ônibus. O transporte municipal e o intermunicipal operam de forma superposta, o que dificulta o planejamento, a racionalização de itinerários e a distribuição de linhas na cidade; situação que se agrava por tratar-se de sistemas gerenciados por órgãos diferentes: Superintendência Municipal de Transportes Urbanos - SMTU, para o sistema municipal de Cuiabá, Superintendência Municipal de Trânsito e Transportes para o sistema municipal de Várzea Grande e AGER, do Governo do Estado, para o transporte intermunicipal entre Cuiabá e Várzea Grande.

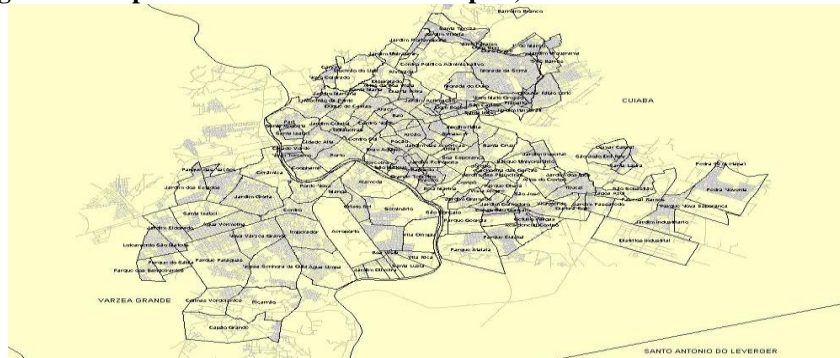
Entradas de Dados

Digitalização dos Mapas

O mapa utilizado foi confeccionado a partir da base cartográfica da Secretaria de Segurança Pública do Estado de Mato Grosso (SSP/MT), no formato *Shape file* (SHP).

As coordenadas da base foram convertidas no Software *ArcView* de UTM para geográficas, e posteriormente exportadas para o formato *Geographic File* (DBD), em coordenadas geográficas para utilização no Software *TransCAD* (COPPETEC/UFMT, 2005). Na Figura 1 é apresentado o mapa digitalizado, onde foram criadas as camadas (*layers*) limite entre municípios e sistema viário urbano (eixos) que sugerem uma divisão de bairros e áreas de interesse.

Figura 1 - Mapa com as camadas de municípios, bairros e sistema viário urbano



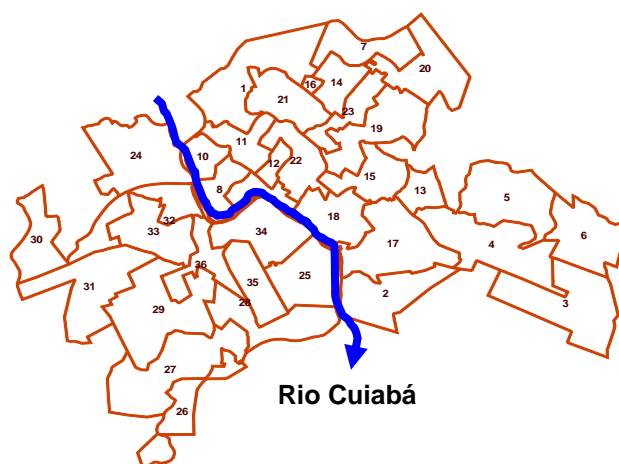
Fonte: COPPETEC/UFMT (2005)

Zonas de Tráfego

Antes de desenhar a rede de transporte público no *TransCAD*, foi necessário digitalizar as zonas de tráfego identificadas nas pesquisas O/D com seus respectivos centróides. Na definição de zonas de tráfego para o aglomerado Cuiabá/Várzea Grande considerou-se como critério básico para

agregação a similaridade entre bairros, definida com base na densidade populacional e na renda média de cada setor censitário (IBGE, 2000). Para se agrupar os setores censitários utilizou-se o *TransCAD* que permitiu estabelecer as zonas de tráfego conforme Figura 2.

Figura 2- Zonas de tráfego



Pesquisa Origem Destino nos Domicílios

Essa pesquisa foi feita para identificar a utilização de transporte da população e respectivos fluxos de viagens por modo (coletivo e individual), abrangendo os municípios de Cuiabá e Várzea Grande. Foram realizadas com o objetivo de identificar índices de mobilidade da população, com base na distribuição espacial segundo as zonas de tráfego, para os diversos extratos sociais do aglomerado urbano. Esses movimentos foram

associados às linhas de maior frequência e maior demanda, na qual foram entrevistados 18.637 moradores residentes em 4.156 domicílios nos dois municípios. A análise procedida permitiu estabelecer um cenário de como as viagens ocorrem no núcleo urbano da área estudada, e ilustram o comportamento dos deslocamentos. A Tabela 1 resume o total de viagens, expandido a partir da amostra pesquisada.

| Município | Habitantes | Domicílios | Viagens | Viagens Expandidas |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|
| Cuiabá | 5.164 | 2.618 | 11.632 | 527.097 |
| Várzea Grande | 3.166 | 1.537 | 6.934 | 269.309 |
| Total | 8.388 | 4.156 | 18.637 | 796.406 |

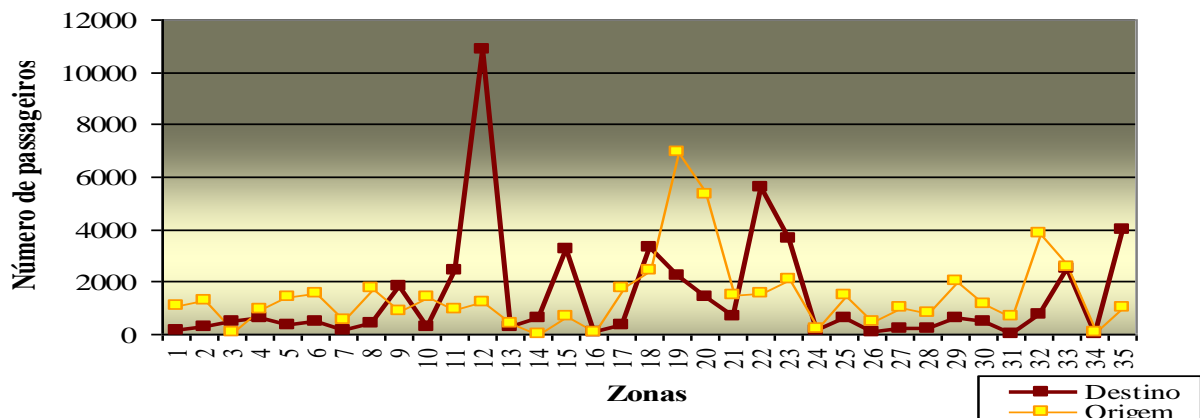
Tabela 1 - Viagens pesquisadas

Matriz Origem-Destino

Através das matrizes de desejo de viagens dos habitantes do aglomerado urbano pode-se vislumbrar onde estão concentradas as origens e destinos e como é feito o deslocamento dos cidadãos pelo tecido urbano. O Gráfico 1 resume o comportamento

horário do fluxo de passageiros em cada zona na origem e destino, e destaca que os dois picos nas zonas de origem mais carregadas ficam em regiões onde se localizam bairros de baixa renda, e os picos de destino são os centros de Cuiabá e Várzea Grande.

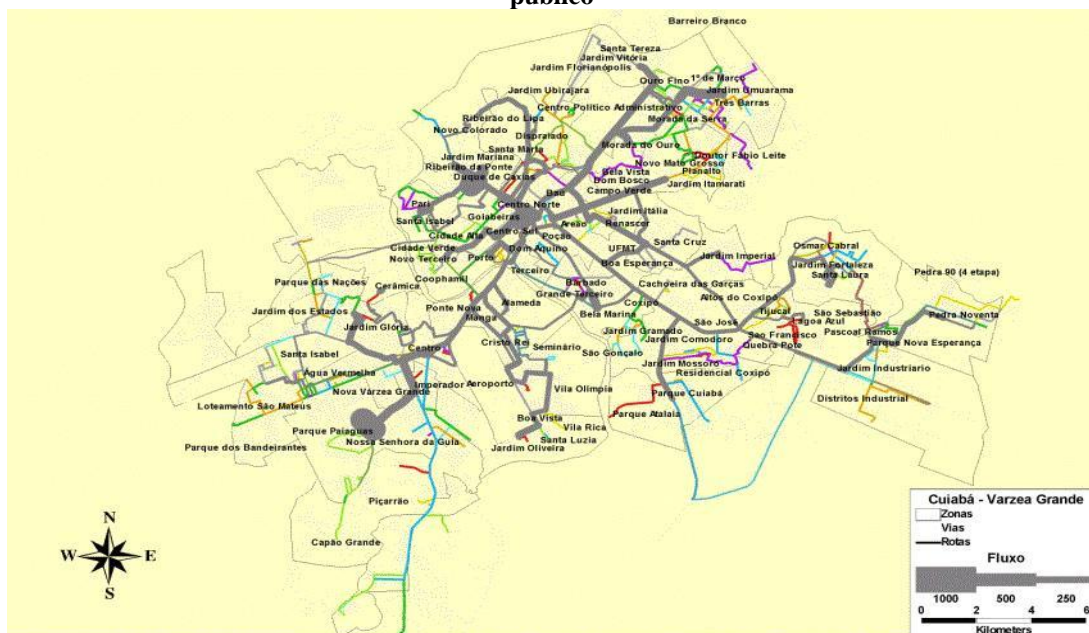
Gráfico 1 – Fluxo de passageiros



Quando se aloca essa demanda na rede de transporte público, concentra-se ainda mais e fica fácil

perceber e identificar as vias mais carregadas, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Matriz de viagens da manhã pela rede de transporte público



Fonte: COPPETEC/UFMT (2005)

Criado o sistema de rotas e definida a estrutura das tabelas de rotas.

passa-se para a digitalização das rotas onde os resultados estão representados nas Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4 – Mapa do sistema de linhas de ônibus priorizando a distância percorrida



Figura 5 – Mapa do sistema de linhas de ônibus priorizando o tempo de viagem

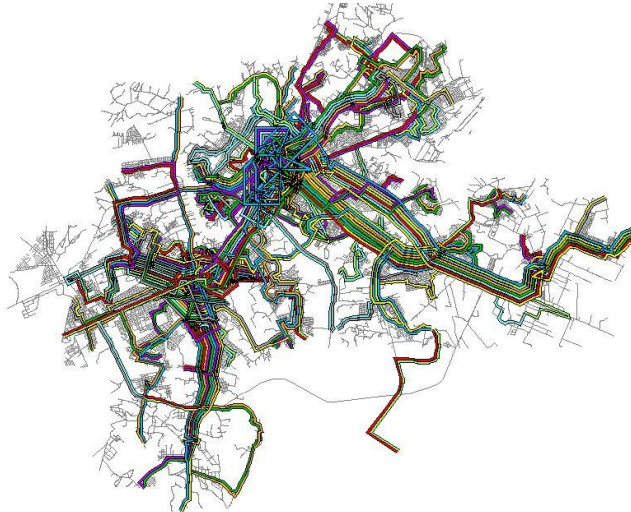


Figura 6 – Mapa do sistema de linhas de ônibus estudado



De acordo com os resultados gerados e a representação gráfica do sistema, pode-se perceber que no sistema estudado (Figura 6) existe uma grande superposição de linhas deixando o sistema oneroso para os operadores e ineficientes para os usuários. Nos

Resultados Obtidos

Com o traçado do itinerário das linhas do sistema, foram obtidas as informações dos principais parâmetros que serviram de base para o cálculo do melhor sistema através da aplicação de método multicritério de apoio à decisão, através do *TransCAD*. Esses parâmetros podem ser avaliados como indicadores de conforto para o usuário e de custo para as empresas. Os indicadores de tempo de viagem estão reunidos nas Tabelas 2 e 3.

| Alternativa | Tempo de viagem (min) |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Prioridade para distância percorrida | 36,92 |
| Prioridade para tempo de viagem | 36,35 |
| Sistema estudado | 47,75 |

Tabela 2 - Tempo de viagem

Os tempos de viagem dos sistemas por distância e tempo foram foi praticamente os mesmos, a diferença entre essas duas alternativas foi maior nas linhas troncais que passam pelo centro de Cuiabá, estas correspondem a aproximadamente 25% das linhas, como o calculo é feito com a média de todas as linhas a diferença foi pequena

| Alternativa | Intervalo (seg) |
|--------------------------------------|-----------------|
| Prioridade para distância percorrida | 11,08 |
| Prioridade para tempo de viagem | 12,13 |
| Sistema estudado | 30,16 |

Tabela 3 - Intervalo (headway)

O calculo é feito com a média de todas as linhas a diferença foi pequena.

sistemas gerados (Figuras 4 e 5) pode-se perceber que alguma via de trânsito mais fluente foram mais utilizadas no sistema gerado priorizando o tempo de viagem, tornando alguns itinerários mais longos.

O *headway* foi maior para a alternativa de tempo de viagem, o que não era esperado, mas seu cálculo é feito com a frequência que depende da demanda e como a demanda foi dividida, pois as linhas aumentaram pelo fato de ter linhas mais diretas. Como se percebe, o *headway* aumentou por causa da diminuição da demanda nessas linhas.

| Alternativa | Transbordo |
|--------------------------------------|------------|
| Prioridade para distância percorrida | 90 % |
| Prioridade para tempo de viagem | 88 % |
| Sistema estudado | 76 % |

Tabela 4 - Número de transbordos

A porcentagem de transbordos é menor para o sistema estudado, pois ele está com muitas linhas sobrepostas. Na alternativa tempo de viagem o transbordo é menor devido ao sistema possuir mais linhas diretas.

Outros parâmetros podem ser relacionados aos indicadores de custo para as empresas, como o IPK, como mostra a Tabela 5.

| Alternativa | IPK (pass/km) |
|--------------------------------------|---------------|
| Prioridade para distância percorrida | 2,81 |
| Prioridade para tempo de viagem | 2,69 |
| Sistema estudado | 2,46 |

Tabela 5 - Índice passageiros x quilômetro – IPK

Como a demanda se dividiu na alternativa tempo de viagem, devido ao maior número de linhas, o IPK dessa alternativa foi menor que o da

alternativa distância, pois o cálculo é feito com a média dos IPK de todas as linhas. A quilometragem total percorrida está resumida na Tabela 6.

| Alternativa | Quilometragem /dia (km) |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Prioridade para distância percorrida | 165.584 |
| Prioridade para tempo de viagem | 167.333 |
| Sistema estudado | 184.158 |

Tabela 6 - Quilometragem total percorrida

A alternativa distância percorrida foi a mais eficiente, pois na alternativa tempo de viagem percorre-se um caminho mais longo para se consumir um tempo menor.

| Alternativa | Frota |
|--------------------------------------|-------|
| Prioridade para distância percorrida | 495 |
| Prioridade para tempo de viagem | 475 |
| Sistema estudado | 572 |

Tabela 7 - Frota Total

A frota foi menor na alternativa tempo de viagem, pois o cálculo da frota depende do tempo de ciclo e como

esta alternativa tem tempos de ciclos menores devido ao número maior de linhas, o *headway* aumenta e a frota diminui.

Escolha do Resultado

Aplicação do Método Multicritério TOPSIS

O cálculo da melhor alternativa foi feito pelo Método de Análise Multicritério TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Trata-se de um método multicritério desenvolvido por Hwang & Yoon (1981), no qual m alternativas são avaliadas segundo n atributos de avaliação de prioridades determinadas por um indicador derivado da combinação entre a aproximação a uma situação ideal (positiva) e ao distanciamento de uma situação não ideal (negativa). O método foi enriquecido por Yoon (1987) e Hwang, Lai & Liu (1993). A aplicação do método para o problema proposto se inicia com a matriz do problema, destacada na Tabela 8.

| Alternativa | Tempo de viagem (min) | Transbordo | Headway (seg) | Frota | Quilometragem /dia (km) | IPK (pass/km) |
|----------------------|-----------------------|------------|---------------|-------|-------------------------|---------------|
| Distância percorrida | 36,92 | 0,90 | 11,08 | 495 | 165.584,00 | 2,81 |
| Tempo de viagem | 36,35 | 0,88 | 12,13 | 475 | 167.333,00 | 2,69 |
| Atual | 47,75 | 0,76 | 30,16 | 572 | 184.158,76 | 2,46 |

Tabela 8 - Matriz do problema

Essa matriz tem de ser normalizada, através da relação dos valores atribuídos aos critérios

escolhidos com o valor máximo (ver Tabela 9).

| Alternativa | Tempo de viagem | Transbordo | Headway (seg) | Frota | Quilometragem/dia (km) | IPK (pass/km) |
|-------------|-----------------|------------|---------------|-------|------------------------|---------------|
|-------------|-----------------|------------|---------------|-------|------------------------|---------------|

| | (min) | | | | | |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|
| Distância percorrida | 0,77 | 1,00 | 0,37 | 0,87 | 0,90 | 1,00 |
| Tempo de viagem | 0,76 | 0,98 | 0,40 | 0,83 | 0,91 | 0,96 |
| Atual | 1,00 | 0,84 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,88 |

Tabela 9 - Matriz normalizada

Depois de calculada a matriz normalizada, o próximo passo é a obtenção da matriz ponderada, que funciona como parâmetro moderador, que diminui as diferenças entre os valores obtidos. Para isso é necessário comparar os valores das duas grandezas para decisão: distância percorrida e

tempo de viagem. Como são apenas esses dois critérios, podem-se estabelecer pesos iguais (5,0) para cada um dos decisores, e os pesos calculados para cada critério está assinalado na Tabela 10.

| Critérios pontuados | Pesos ponderados | Soma |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| Tempo de viagem (min) | 1,56 | Usuários 5,0 |
| Transbordo | 1,67 | |
| Headway (seg) | 1,77 | |
| Frota | 1,56 | Operadores 5,0 |
| Quilometragem/dia (km) | 1,67 | |
| IPK (pass/km) | 1,77 | |

Tabela 10 - Pesos adotados

Multiplicando-se esses pesos pelas respectivas notas atribuídas aos critérios escolhidos chega-se à matriz ponderada, mostrada na Tabela 11.

De acordo com os procedimentos do TOPSIS, foram calculadas as situações ideal positiva e negativa para os resultados da matriz ponderada. Os

valores obtidos expressam à maior e a menor distância entre a média dos valores ponderados para cada alternativa, denominadas situação ideal negativa e situação ideal positiva, que dizem respeito ao que é pior e o que é melhor para cada um dos atores (usuário e operador).

| Alternativa | Tempo de viagem (min) | Transbordo | Headway (seg) | Frota | Quilometragem/dia (km) | IPK (pass/km) |
|----------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------------------------|----------------------|
| Distância percorrida | 1,21 | 1,67 | 0,65 | 1,35 | 1,50 | 1,77 |
| Tempo de viagem | 1,19 | 1,63 | 0,71 | 1,30 | 1,52 | 1,69 |
| Atual | 1,56 | 1,41 | 1,77 | 1,56 | 1,67 | 1,55 |

Tabela 11 - Matriz ponderada

Na Tabela 12 estão assinaladas as distâncias entre a situação ideal positiva

e negativa e a situação ponderada para cada critério analisado.

| Situação ideal | Tempo de viagem (min) | Transbordo | Headway (seg) | Frota | Quilometragem/dia (km) | IPK (pass/km) |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------------------------|----------------------|
| Positiva A⁺ | 1,19 | 1,41 | 0,65 | 1,30 | 1,50 | 1,77 |
| Negativa A⁻ | 1,56 | 1,67 | 1,77 | 1,56 | 1,67 | 1,55 |

Tabela 12 - Situações ideal positiva e negativa

A amplitude, em valor absoluto, mostra a distância entre a escolha feita pelo decisor em relação à pior e à

melhor situação entre as notas obtidas (Tabela 13)

| Alternativa | Tempo de viagem (min) | Transbordo | Headway (seg) | Frota | Quilometragem/dia (km) | IPK (pass/km) | Δ^+ |
|---|-----------------------|------------|---------------|--------|------------------------|---------------|---------------|
| Ideal positiva Δ^+ | | | | | | | |
| Distância | -0,0186 | -0,2598 | 0,0000 | 0,0545 | 0,0000 | 0,0000 | 0,3329 |
| Tempo | 0,0000 | -0,2227 | -0,0616 | 0,0000 | -0,0159 | 0,0756 | 0,3757 |
| Atual | -0,3725 | 0,0000 | -1,1197 | 0,2645 | -0,1684 | 0,2205 | 2,1456 |
| Ideal negativa Δ^- | | | | | | | |
| Distância | 0,3539 | 0,0000 | 1,1197 | 0,2100 | 0,1684 | -0,2205 | 2,0724 |
| Tempo | 0,3725 | 0,0371 | 1,0580 | 0,2645 | 0,1526 | -0,1449 | 2,0296 |
| Atual | 0,0000 | 0,2598 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,2598 |

Tabela 13 - Distâncias entre as situações ideais para cada alternativa

O resultado da análise comparativa se encerra com o cálculo do coeficiente de priorização.

Coeficiente de Priorização (ϕ)

$$\phi = \frac{|\Delta^-|}{|\Delta^- + \Delta^+|}$$

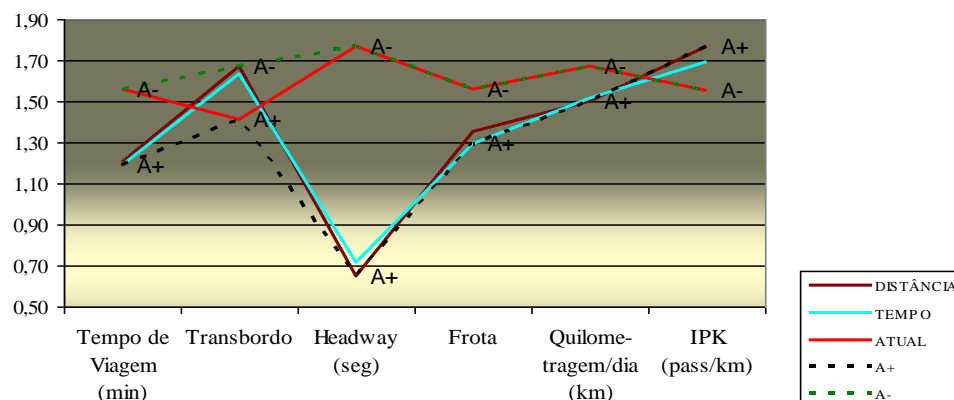
Na Tabela 14 está destacada a priorização das alternativas (distância percorrida e tempo de viagem) diante dos critérios selecionados.

Tabela 14 – Resultado final (Método Topsis)

| Alternativa | Resultado |
|----------------------|-----------|
| Distância percorrida | 0,8616 |
| Tempo de viagem | 0,8438 |
| Atual | 0,1080 |

O resultado mostra que para o melhor equilíbrio do sistema a priorização deve obedecer para as linhas de menores distâncias percorridas (desejo dos usuários), e no Gráfico 2 está representado como os pesos dos critérios atuam na definição das prioridades.

Gráfico 2- Avaliação dos critérios



Percebe-se no exemplo que o *Topsis* tem a influência do decisor somente na escolha dos critérios e nos pesos destes, e o método tende a dar mais importância quando a diferença entre as alternativas em um dado

critério e maior e vice-versa. Os pesos dos critérios foram divididos dando prioridades iguais para os usuários e operadores, dada a indefinição do que fazer. Portanto a alternativa que prioriza menores distâncias percorridas foi a que

atendeu com maior equilíbrio essas exigências.

CONCLUSÕES

Problemas diversos são enfrentados pelos usuários dos transportes públicos no Brasil. O número de passageiros transportados cai a cada ano, diminuindo a receita das empresas que param de investir no setor, e cai a qualidade dos serviços ofertados. Desse modo, no estágio da realidade do transporte público por ônibus, um dos desafios é desenvolver estudos que contribuam para a busca de soluções para garantir o equilíbrio entre a lucratividade do transporte público nas grandes cidades, e a certeza da oferta de um serviço de boa qualidade para os usuários. Esta é a única fórmula de garantir a adoção de sistemas racionais e eficientes para garantir a mobilidade das populações das grandes cidades brasileiras, principalmente aquelas com populações acima de 500 mil habitantes.

As principais conclusões estão resumidas a seguir:

- os resultados mostram como a técnica multicritério facilita a escolha da melhor alternativa em face de tantos objetivos conflitantes, e através dela pode-se escolher a melhor alternativa não como a “alternativa ótima”, mas a que melhor atendeu os critérios, simultaneamente;
- através do *TransCAD* podem-se traçar sistemas otimizados;
- a alternativa distância percorrida foi a que conseguiu melhores resultados gerais;
- detectou-se ainda que quando a distância percorrida é priorizada o sistema adquire algumas vantagens, pois a demanda é a mesma e o fato de na alternativa que se prioriza o tempo de viagem ter que aumentar o percurso

para fazê-lo mais rápido interfere negativamente em outros critérios.

Quanto às sugestões frente ao problema estudado, elas apresentam instrumentos que poderão ser utilizados para efetivar a integração dos sistemas, que resumidamente são os seguintes:

- manter atualizado o banco de dados disponibilizado pela pesquisa efetuado no âmbito do projeto de integração feito pela COPPETEC/UFMT;
- analisar periodicamente o equilíbrio dos sistemas, na interface lucratividade x satisfação do usuário, mediante levantamento de opinião na área do Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande;
- acompanhar a evolução da mobilidade na área do Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande, e
- estimular a investigação de outros problemas do tema.

REFERENCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP (1997). *Transporte Humano - Cidades com Qualidade de Vida*. 1 ed., São Paulo-SP.
- Bana e Costa, C.A. (1995). *Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, Actores e Acções*. Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão. ENE, UFSC, Florianópolis-SC.
- Cabral, R.G. (2004). *Metodologia para Traçado de Itinerários de Linhas Tronco-Alimentadoras para O Transporte Público de Passageiros*. Dissertação de Mestrado – PET/COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro-RJ.
- COPPETEC/UFMT (2005). *Projeto para Operação Integrada do Sistema de Transporte Coletivo Rodoviário de Passageiros do Aglomerado Urbano Cuiabá-Várzea Grande*. Cuiabá-MT.
- EBTU (1988). *Gerência do Sistema de Transporte Público de Passageiros – STPP*. Módulos de treinamento. Planejamento da Operação - São Paulo-SP.
- Ferreira Filho, A. S. (2006). *Modelagem de Sistemas de Informação para os Transportes em Ambientes Logísticos Georreferenciados com o Emprego da Lógica Fuzzy*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.

- IBGE (2006) – *Estimativas de populações*. Disponível em <http://www.ibge.com.br>. Acesso: 21/03/07.
- Hwang, C. L., Lai, Y. J. & Liu, T. Y. (1994). *TOPSIS for MODM*. European Journal of Operational Research, Vol. 76, no. 3, pp. 486-500.
- Napierala, H. (2004). *Um Modelo de Otimização de Redes Troncais de Transporte Público Urbano de Passageiros*. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis-SC.
- Ollaguez, D. E. M. (2006). *Criterios de Selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico*. S.A.C. Monografía. Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru.
- U.S.A.
- Salomon, V. A. P. ; Montevechi, J. A. B. ; Pamplona, E. O. (1999). *Justificativas para Aplicação do Método de Análise Hierárquica*. XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro-RJ.
- Soares, U, P. (2006). *Procedimento para A Localização de Terminais Rodoviários Interurbanos, Interestaduais E Internacionais de Passageiros*. Dissertação de Mestrado. PET/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.
- Warren, L. (2006) *Structural Uncertainties in Numerical Induction Models. Command and Control Division*. Defence science and technology organization. Endinburgh South Australia, Australia.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York,