

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA TOMADA DE DECISÃO DA MUDANÇA TECNOLÓGICA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO TRANSPORTE COLETIVO DE PORTO ALEGRE

Anna Laura Tonetto Casal

Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção/UFRGS

Rafael Roco de Araújo

Empresa Pública de Transportes e Circulação - EPTC
Faculdade de Engenharia/PUCRS

RESUMO

No setor de transportes a utilização da tecnologia de informação nos processos de planejamento, operação e supervisão tem como objetivo promover a melhoria na prestação de serviços. Com mais de uma década de uso, uma revisão na tecnologia do sistema de monitoramento do transporte coletivo de Porto Alegre se faz necessária. Esta mudança compreende um processo de tomada de decisão no qual devem ser considerados critérios qualitativos e quantitativos de difícil mensuração. Este trabalho descreve a aplicação do Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) para auxiliar a escolha da alternativa mais adequada para a mudança de tecnologia do sistema de monitoramento do transporte coletivo urbano em Porto Alegre. Os resultados obtidos demonstram a efetividade do método neste tipo de aplicação de modo a auxiliar à tomada de decisão, além de fornecer informações relevantes sobre os critérios avaliados no ponto de vista do órgão gestor.

ABSTRACT

In the transportation sector the utilization of the information technology in planning, operation and supervision aims to encourage improvements in service delivery. With over a decade of use, a technology review of the monitoring system of public transportation in Porto Alegre is needed. This change includes a decision making process in which qualitative and quantitative criteria should be considered of difficult measurement. This paper describes the application of Analytic Hierarchy Process - AHP to help choose the most appropriate alternative for switching system technology monitoring of urban transportation in Porto Alegre. The results demonstrate the effectiveness of the method in this application in order to assist decision-making, besides to provide relevant information on the criteria evaluated in view of the managing agency.

1. INTRODUÇÃO

O investimento em tecnologia de informação trouxe avanços para o gerenciamento do transporte público de Porto Alegre, tornando possível o acompanhamento dos veículos em tempo integral. Os dados obtidos permitem obter um panorama completo em relação ao cumprimento dos itinerários e dos horários, além da demanda dos passageiros. Há, desse modo, um maior controle na qualidade dos serviços prestados. No entanto, a tecnologia utilizada para tal finalidade atualmente encontra-se defasada, e por isso, ocorrem perdas consideráveis na qualidade das informações, bem como limitações nas respostas às demandas solicitadas.

A implantação de tecnologias nos sistemas de transporte público aumenta sua eficiência e segurança e oferecem aos passageiros um maior acesso à informação sobre as operações do sistema. A implantação dessas tecnologias está transformando a forma como os sistemas de transporte público operam, mudando a natureza dos serviços de transporte que podem ser oferecidos. O objetivo da utilização da tecnologia é fornecer informações sobre o transporte público para tomada de decisões mais eficazes sobre os sistemas e as operações e melhorar a qualidade dos serviços aos passageiros (APTS, 2000). Nakanishi (2004) argumenta que a utilização da tecnologia no transporte coletivo oferece uma melhora do serviço através da circulação segura e eficiente de pessoas, bens e informações, com maior mobilidade e eficiência de combustível, menos poluição e aumento da eficiência operacional. O sistema

deve se acomodar e ser justo na defesa dos interesses do governo, dos indivíduos e das empresas que desejam desenvolver um mercado competitivo de tecnologias de transporte.

Este trabalho tem por objetivo identificar e analisar, através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica, quais os critérios que exercem maior influência sobre os tomadores de decisão do órgão gestor do sistema de transportes quanto à escolha na mudança tecnológica do sistema de monitoramento do transporte coletivo de Porto Alegre. Para isto serão avaliadas alternativas existentes no mercado que são o sistema de identificação de passagem de veículo com rádio embarcado e estações fixas de detecção de passagem por radiofrequência, o sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS, o sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS e RFID e o sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS e computador de bordo.

Na seção 2 deste trabalho são apresentados os conceitos básicos do método AHP. A seção 3 especifica e caracteriza o sistema de monitoramento atual, relacionando a parte física com o processo da informação organizado no órgão municipal gestor do transporte coletivo por ônibus. Na quarta seção do trabalho é apresentado o processo de desenvolvimento da pesquisa no que diz respeito à definição do objetivo, critérios e alternativas, construção da estrutura hierárquica, aplicação de questionário junto aos tomadores de decisão do órgão gestor, tabulação dos dados, execução dos procedimentos de cálculo do método AHP e análise dos dados. Na última seção são apresentadas as conclusões do trabalho.

2. O MÉTODO AHP – PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

O Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Prochess* – AHP), desenvolvido por Thomas Saaty no início da década de 1970 é uma ferramenta de análise de decisão de múltiplos atributos utilizada para avaliar decisões com múltiplas alternativas e critérios. O método utiliza comparação aos pares através de matrizes para ao final identificar e ponderar os critérios que são importantes no processo de tomada de decisão (Saaty, 1980).

O método AHP vem sendo aplicado em diversas áreas como planejamento estratégico, seleção de melhores alternativas de investimentos, alocação de recursos, resolução de conflitos e otimização entre outros. Dada sua flexibilidade, o AHP pode ser integrado a diferentes técnicas como Programação Linear, Desdobramento da Função da Qualidade e Conjuntos Difusos (Vaidya e Kumar, 2006).

Diante de um problema de comparação entre vários elementos de um conjunto a mente humana cria naturalmente um processo de hierarquização. Baseado neste fato, o método AHP estrutura de forma hierarquizada o problema a ser analisado, sendo que no nível mais alto está o objetivo principal do estudo, nos níveis seguintes estão os critérios (propriedades através das quais as alternativas serão avaliadas) e subcritérios (quando necessário) e, no nível mais baixo, as alternativas a serem decididas conforme pode ser visto na Figura 1.

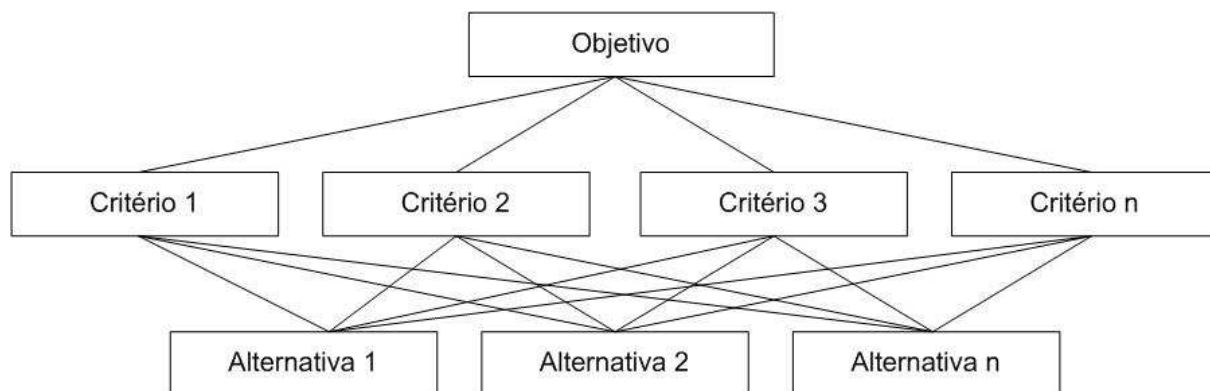


Figura 1: Árvore Hierárquica do método AHP

A etapa de estruturação do problema e construção de hierarquia é de extrema importância, pois é a partir daí que será possível realizar o processo de comparação dos critérios e, posteriormente das alternativas. O método AHP permite atribuir pesos onde os valores numéricos não podem ser obtidos diretamente. Assim, será utilizada uma matriz de comparação aos pares onde é avaliada a importância de um critério em relação a outro através de uma escala adequada.

A matriz de comparação aos pares é construída de forma que o tomador de decisão analisa inicialmente os critérios dois a dois de acordo com o nível de importância de um para com o outro. Depois é feita a mesma análise com as alternativas em relação a cada critério separadamente para finalmente obter-se um ordenamento de importância das alternativas.

O método compreende também uma metodologia específica para calibrar a escala numérica que mensura tanto o desempenho de variáveis de natureza quantitativa quanto qualitativa (Vaidya e Kumar, 2006). A escala de valores é mostrada na Figura 2.

Escala Fundamental	Avaliação de Critérios	Valor da Escala
1	O critério i é extremamente menos importante que o critério j	1/9
2	O critério i é fortemente menos importante que o critério j	1/7
3	O critério i é menos importante que o critério j	1/5
4	O critério i é fracamente menos importante que o critério j	1/3
5	O critério i tem importância igual ao critério j	1
6	O critério i é fracamente mais importante que o critério j	3
7	O critério i é mais importante que o critério j	5
8	O critério i é fortemente mais importante que o critério j	7
9	O critério i é extremamente mais importante que o critério j	9

Figura 2: Escala numérica para mensuração do desempenho de variáveis

A partir dos dados fornecidos pelo tomador de decisão é construída a matriz A de comparação, na qual os elementos obedecem à seguinte regra: $a_{ji}=1/a_{ij}$, onde a_{ij} são valores reais positivos, i é o índice que representa a linha e j a coluna. Estas características fazem com que a matriz resultante tenha consistência e seja denominada como *recíproca positiva* (Saaty, 1980).

Após a estruturação do problema, construção de hierarquia e pesos dos critérios e alternativas segue os seguintes passos para aplicação do método AHP:

Passo 1. Determinação do vetor de pesos

Passo 1.1. Para cada coluna da matriz A dividir cada entrada da coluna j da matriz A pela soma das entradas da coluna j ;

Passo 1.2. Formar uma matriz A_{norm} (matriz normalizada) onde a soma das entradas de cada coluna é igual a 1;

Passo 1.3. Encontrar uma aproximação para o peso máximo (w_{max}) para ser utilizado como estimativa de peso. Para isso, estimar w_i como a média nas entradas das linhas i de A_{norm} gerando o vetor w ;

Passo 1.4. Multiplicar a matriz A pelo autovetor w resultando no vetor z .

Passo 2. Cálculo de λ_{max} .

Passo 2.1. Dividir cada peso de vetor z pelo valor correspondente no autovetor w ;

Passo 2.2. Determinar λ_{max} pela média dos valores obtidos no passo anterior.

Passo 3. Cálculo do Índice de Consistência – IC

Passo 3.1. Determinar o valor de IC através da expressão:

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

onde n é o número de linhas da matriz.

Passo 4. Cálculo da Razão de Consistência – RC

Passo 4.1. Determinar o valor de RC através da expressão:

$$RC = IC / CR \quad (2)$$

onde CR é o *Índice de Consistência Randômico*. Os valores de CR previamente estabelecidos são apresentados na Figura 3. Considera-se uma matriz consistente quando o valor da razão de consistência é menor ou igual a 0,10. Caso o valor máximo de RC seja excedido, revisar a matriz de comparação.

Passo 5. Construção da matriz de priorização e determinação da melhor alternativa.

Passo 5.1. Multiplicar o autovetor de pesos da comparação entre critérios para cada um dos autovetores de pesos da comparação entre alternativas. O resultado dessa multiplicação é um novo vetor onde se terá uma resposta de qual é a melhor alternativa, considerando todos os critérios e o quanto cada um deles está presente nas alternativas que estão sendo comparadas. A melhor alternativa é aquela que possuir maior peso no vetor final.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Figura 3: Valores para o Índice de Consistência Randômico

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL

3.1. Implantação do sistema

O Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente – SOMA, teve sua implantação iniciada em Porto Alegre no ano de 1997. Ao longo de dois anos, foram realizados diversos testes para consolidação do programa, elaboração de relatórios, verificação da consistência das leituras, conferência de tabelas horárias oficiais, preenchimento de boletins e correções de não-conformidades. Além disso, foram instaladas novas estações fixas de monitoramento e adaptação das estações já existentes. Em dezembro de 1999, iniciou-se o monitoramento 24 horas da operação do transporte urbano por ônibus (EPTC, 2010b). No ano 2000, ocorreu a

finalização da primeira etapa de implantação do SOMA, onde foram disponibilizadas as informações aos setores da SMT/EPTC e às operadoras de transporte público. Em dezembro de 2000, foi assinado o contrato de expansão do sistema através de financiamento junto ao BNDES.

Desde então, o SOMA sofreu algumas modificações e ampliações. Porém, com o passar dos anos o sistema teve uma redução de eficiência com várias estações inoperantes ou com funcionamento parcial. Em 2008, através de novo contrato de manutenção e perspectivas de desenvolvimento do sistema, foi iniciado um processo de recuperação do SOMA, com a utilização de novas ferramentas de detecção de falhas e manutenção efetiva. O objetivo de recuperação total do sistema foi alcançado ao final do ano de 2008. Atualmente o SOMA opera com monitoramento em tempo real, onde é acompanhada a regularidade do serviço e as condições de operação dos principais corredores de transportes.

3.2. Características da tecnologia implantada

O SOMA é composto basicamente por quatro componentes: as unidades móveis, instaladas nos ônibus; as estações fixas, localizadas em pontos estratégicos da malha viária; uma antena repetidora; e uma Central de Controle e Monitoramento (EPTC, 2010b). As unidades móveis constituem-se de uma etiqueta eletrônica, ou *transponder*, fixado no chassi dos ônibus. Neste *transponder* é gravado o prefixo do veículo, sendo possível a regravação quando necessário, pela unidade competente. Todos os veículos de transporte público urbano devem circular dentro das especificações do SOMA. A frota atual de ônibus urbanos é de 1.657 veículos (EPTC, 2010a).

As estações fixas são compostas por vários dispositivos, como unidade de leitura, unidade de controle, transmissor/receptor de rádio digital, módulo provedor de energia, antenas de solo e respectivo sintonizador, antena de radio-frequência do rádio modem e caixa acondicionadora preparada para ambientes agressivos. A estação fixa é capaz de monitorar tantas faixas de tráfego quantas existirem no local de coleta, sendo que para cada faixa devem ser utilizadas uma unidade de leitura e sua respectiva antena, de modo que seja possível identificar os veículos em diferentes faixas de forma simultânea. Ao todo, o sistema Soma funciona com 50 estações fixas de monitoramento (EFs) em diferentes áreas da cidade.

A antena repetidora tem como funções ampliar a área de alcance do sistema de rádio através da amplificação dos sinais transmitidos e recebidos pelas estações fixas e central de controle e monitoramento, e ainda, tornar possível a comunicação de todas as EFs instaladas em vários pontos da cidade com a central de controle e monitoramento. A antena repetidora recebe os sinais da central de controle e monitoramento, amplifica-os e retransmite às EFs e vice-versa. Em Porto Alegre, a antena repetidora de 48 metros está instalada no morro São Caetano.

A transferência de informações entre as antenas e a central de controle e monitoramento ocorre por radio-frequência. A central de controle e monitoramento, agregada à GECOMM (Gerência de Controle e Monitoramento de Mobilidade), conta com uma infra-estrutura de equipamentos de comunicação e informática para o processamento das informações coletadas através do monitoramento automático. Através desta estrutura é possível a realização de consultas de dados históricos ou em tempo real e a emissão de relatórios operacionais e gerenciais da operação do sistema. A Figura 4 ilustra a troca de informações entre os elementos do sistema que atuam no SOMA.

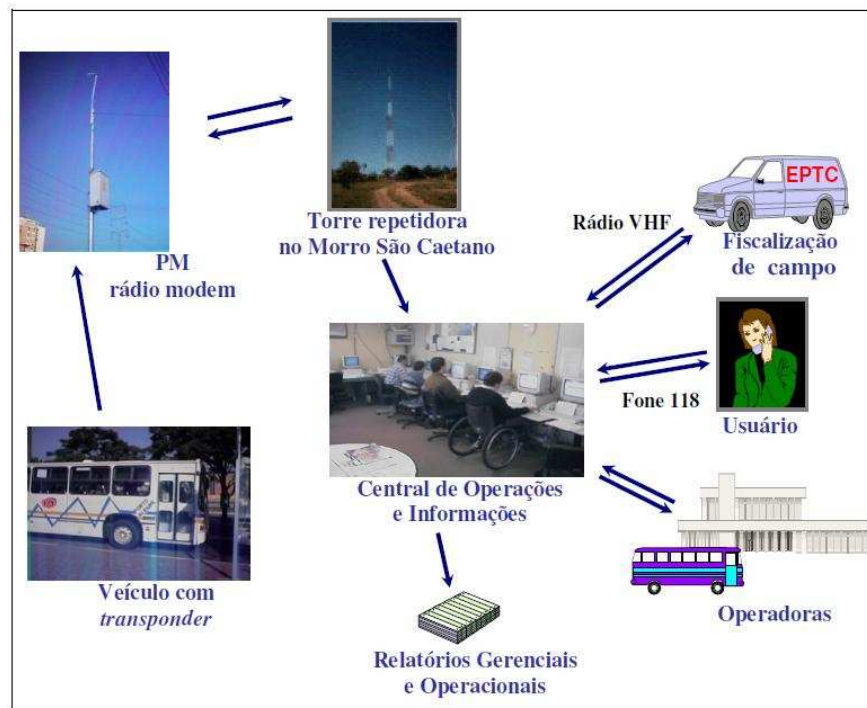


Figura 4: Troca de Informações entre os Elementos do Sistema Soma

3.3. Situação atual

Com mais de dez anos de utilização do SOMA, muitos componentes utilizados nos equipamentos não são mais fabricados. Com isso, o custo de reposição é bastante alto. Por ser um equipamento sensível às condições climáticas, há necessidade constante de reparos, além da manutenção periódica. Quando há a necessidade de manutenção da antena de solo, é necessária a interrupção de trânsito nas faixas afetadas, o que torna o processo muitas vezes inviável em dias úteis, já que as antenas estão localizadas nas principais vias da cidade.

Devido à dificuldade de intervenção no pavimento para manutenção das antenas, o sistema reduz a capacidade de realização das leituras de passagens dos veículos e, muitas vezes, a avaliação da operação é prejudicada em função da inoperabilidade das antenas. Outra dificuldade enfrentada diz respeito à falta de mão-de-obra especializada, que restringe as opções para contratação de serviços. Ainda, mesmo após contratados, os prestadores de serviços apresentam dificuldade de manter essa mão-de-obra especializada.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Com o objetivo de auxiliar na escolha da melhor alternativa foram seguidas as etapas de aplicação do método AHP apresentado na seção 2. A análise multicritério é composta por 4 alternativas e 6 critérios. As etapas são descritas a seguir.

4.1. Definição do objetivo, critérios, alternativas e construção da estrutura hierárquica

O objetivo da aplicação da metodologia veio da necessidade de buscar alternativas tecnológicas para o sistema de monitoramento em função da situação atual já descrita na seção 3.3 e identificar quais os critérios que exercem maior influência sobre os tomadores de decisão. Inicialmente foram definidos os critérios que eram relevantes para o órgão gestor. A definição das alternativas foi feita através de pesquisa de mercado levando em consideração

do que é possível ser adotado pela empresa. Em consulta aos tomadores de decisão da empresa foram identificados os principais critérios de avaliação empregados para na escolha de um sistema de monitoramento para o transporte público no ponto de vista do órgão gestor, que são:

- O custo de aquisição e implantação: recurso necessário para aquisição da tecnologia de informação, composta por *hardware* e *software*;
- O custo de operação do sistema: compreende os custos fixos e variáveis;
- O domínio tecnológico por parte da empresa: conhecimento por parte dos colaboradores sobre o funcionamento da tecnologia, bem como sua utilização para consulta, controle e operação do sistema;
- A confiabilidade na transmissão dos dados: assegurar que as falhas serão mínimas para permitir a credibilidade da informação;
- A complexidade da infraestrutura: suporte necessário para que o sistema possa funcionar de forma adequada;
- A contribuição para o controle do órgão gestor: resposta oferecida por parte do sistema para a questão do controle do órgão gestor.

A Figura 5 apresenta a composição de cada sistema de monitoramento que foram o conjunto de alternativas propostas.

Alternativas	Composição
Alternativa 1	• Sistema de identificação de passagem de veículo com rádio embarcado e estações fixas de detecção de passagem por radiofrequência
Alternativa 2	• Sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS
Alternativa 3	• Sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS e RFID
Alternativa 4	• Sistema de rastreamento de veículo com localização por GPS e comunicação por GPRS e computador de bordo embarcado

Figura 5: Composição dos sistemas de monitoramento

A hierarquia do problema de decisão será estruturada em três níveis. No topo da hierarquia encontra-se o objetivo global que consiste na escolha da troca de tecnologia para o sistema de monitoramento de transporte coletivo de Porto Alegre. No segundo nível encontram-se os critérios que são: custo de aquisição/ implantação, custo de operação do sistema, domínio tecnológico por parte da empresa, confiabilidade na transmissão dos dados, complexidade da infraestrutura requerida e contribuição para o controle do órgão gestor. No último nível de hierarquia encontram-se as alternativas para o problema de decisão, que são 4 sistemas de monitoramento para o transporte coletivo. A Figura 6 mostra a árvore hierárquica para a escolha da melhor alternativa para a troca de tecnologia.

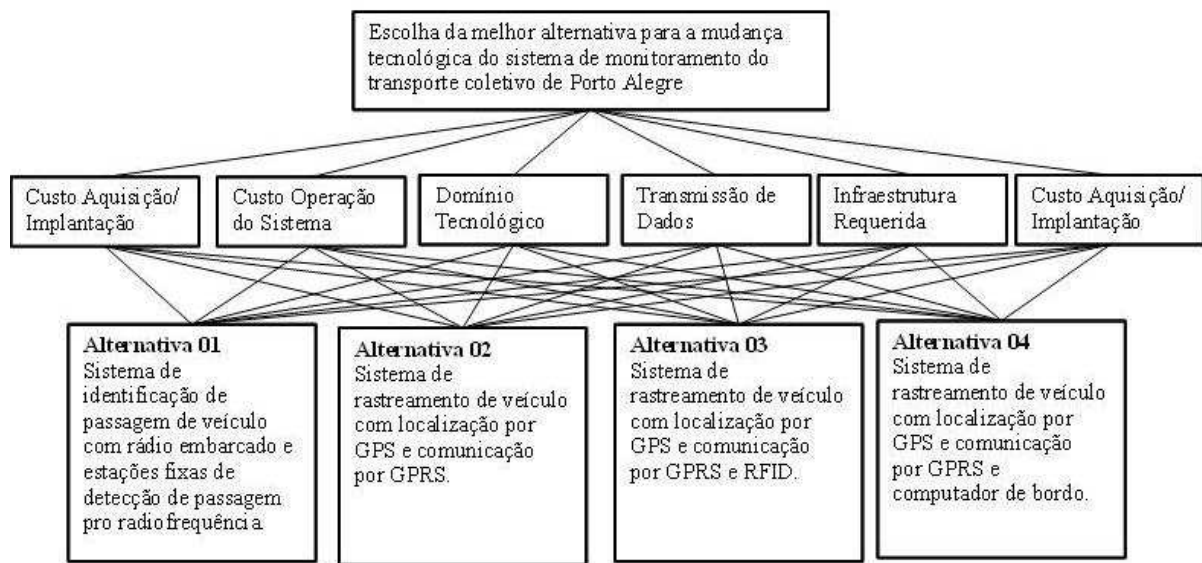


Figura 6: Árvore Hierárquica para análise multicriterial para mudança tecnológica do sistema de monitoramento do transporte coletivo de Porto Alegre

4.2. Pesquisa junto aos tomadores de decisão

Após ser definida a estrutura hierárquica básica do problema, foram pesquisados os pesos atribuídos pelos tomadores de decisão da empresa aos critérios e alternativas a serem comparadas. Para isso foi elaborado um questionário na forma de tabela, no qual os entrevistados pudessem atribuir pesos na comparação dos critérios e na comparação entre as alternativas conforme a escala apresentada na Figura 2. A pesquisa foi realizada individualmente junto a gestores e colaboradores que possuem conhecimento na área e tem poder de decisão na empresa.

Antes da aplicação do questionário foi explicada pelo pesquisador aos entrevistados a forma pela qual deveria ser feito o preenchimento, utilizando um pequeno exemplo. Esta iniciativa se mostrou bastante válida, dado o desconhecimento dos entrevistados a respeito do método AHP.

A fim de não haver sobreposição de respostas e devido à estrutura matricial a ser construída na etapa de tabulação dos dados, optou-se por formatar o questionário referente à comparação de critérios de modo que aqueles já avaliados fossem excluídos das avaliações seguintes. Desse modo, na parte referente à comparação do último critério, não eram mais necessárias respostas por parte do entrevistado.

4.3. Tabulação dos dados e análise de consistência

Com os dados obtidos junto aos tomadores de decisão, foram preenchidas as matrizes de comparação entre os critérios e comparação entre as alternativas. Todos os procedimentos de cálculo do método AHP foram feitos no MS-Excel.

Como cada uma das matrizes resultantes é recíproca positiva, a diagonal principal é preenchida com valores iguais a 1 (importância igual, comparando-se um critério ou alternativa com ele mesmo), a diagonal superior com os valores a_{ij} e a diagonal oposta com $1/a_{ij}$, conforme o exemplo mostrado na Figura 7.

Comparação dos critérios						
	Custo de aquisição e implantação	Custo de operação do sistema	Domínio Tecnológico por parte da empresa	Confiabilidade na transmissão dos dados	Confiabilidade na infra-estrutura	Contribuição para o controle do órgão gestor
Custo de aquisição e implantação	1	0,733	0,839	1,394	2,110	1,143
Custo de operação do sistema	1,364	1	1,139	1,311	2,360	1,760
Domínio tecnológico por parte da empresa	1,192	0,878	1	2,026	3,289	2,193
Confiabilidade na transmissão dos dados	0,717	0,763	0,494	1	5,306	3,400
Complexidade da infraestrutura	0,474	0,424	0,304	0,188	1,000	2,015
Contribuição para o controle do órgão gestor	0,875	0,568	0,456	0,294	0,496	1,000
Soma	5,622	4,366	4,231	6,214	14,560	11,510

Figura 7: Matriz de comparação dos critérios

A determinação dos vetores de pesos w , de λ_{max} , de IC e de RC das matrizes de comparação entre critérios e comparação entre alternativas foi feita de acordo com os passos de 1 a 4 apresentados na seção 2. Os resultados obtidos para o RC para as alternativas são apresentados na Figura 8. O valor do RC entre os critérios foi de 0,070975. Pode-se notar que os valores de RC são menores ou iguais a 0,10, indicando consistência das respostas.

Critérios	Comparação entre Alternativas
Custo de aquisição e implantação	0,004263
Custo de operação do sistema	0,022591
Domínio tecnológico por parte da empresa	0,021271
Confiabilidade na transmissão dos dados	0,006481
Complexidade na infra-estrutura requerida	0,083054
Contribuição para o controle do órgão gestor	0,017332

Figura 8: Valor do RC para a comparação entre alternativas

A seguir são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da matriz de priorização de cada uma das alternativas apresentadas.

4.4. Análise dos dados

A Tabela 1 apresenta os resultados da matriz de priorização para a escolha das alternativas de mudança tecnológica do sistema de monitoramento do transporte coletivo de Porto Alegre. Considerando o peso dos critérios, destaca-se o domínio tecnológico por parte da empresa uma vez que já existe uma tecnologia em operação e se faz necessário o conhecimento e domínio por parte da tecnologia a ser implantada. Em segundo lugar aparece o critério do custo de operação do sistema, o que é explicado pelo fato de que alguns sistemas de monitoramento dependem de operadoras de telecomunicações para a transmissão dos dados fazendo com que o valor do custo da operação aumente. Outra questão é em relação à manutenção dos equipamentos envolvidos em cada sistema e da mão-de-obra necessária que deve ser considerada na tomada de decisão. A confiabilidade na transmissão dos dados

aparece em terceiro lugar devido à necessidade de obter a maior quantidade de dados no menor tempo possível em função de parte do trabalho se dar em tempo real. Os critérios de custo de aquisição e implantação, contribuição para o controle do órgão gestor e complexidade da infraestrutura requerida aparecem em quarto, quinto e sexto lugar respectivamente com peso significativamente menores que os critérios que ocupam os três primeiros lugares.

Tabela 1: Matriz de Priorização para as Alternativas

Critério	Peso W	Alt. 01	Alt.2	Alt.3	Alt.4
Custo de aquisição e implantação	0,168771	0,500162	0,205087	0,194934	0,099817
Custo de operação do sistema	0,211104	0,402679	0,182656	0,284253	0,130413
Domínio tecnológico por parte da empresa	0,231991	0,39734	0,240056	0,230351	0,132253
Confiabilidade na transmissão dos dados	0,206602	0,255472	0,244905	0,302723	0,196900
Complexidade na infraestrutura requerida	0,087887	0,41865	0,251211	0,177175	0,152963
Contribuição para o controle do órgão gestor	0,093645	0,408603	0,276814	0,195593	0,118991
Soma Ponderada		0,389438	0,227461	0,242776	0,140325

A alternativa 1 foi escolhida como a mais adequada para mudança de tecnologia do sistema de monitoramento. Por se tratar de uma mudança mais conservadora e com um custo menor que as demais alternativas apresentadas, a mesma se torna atraente. A vantagem que se levou em consideração é que o gestor não se torna refém de um serviço terceirizado e tampouco preso ao sistema, já que ele permite que se agreguem outras e tecnologias posteriormente como o GPS. Com a transmissão de rádio embarcado não haverá mais necessidade de intervenção na via, melhorando o custo da manutenção e a melhoria na transmissão dos dados, além de diminuir a perda de passagens, situação que acontece com os laços magnéticos do sistema atual. Em relação aos critérios se observa que o custo de aquisição e implantação aparece com a maior importância dentre os critérios apresentados. Isso se justifica por possuir tecnologia semelhante ao sistema atual fazendo com que o custo inicial seja mais baixo que as demais alternativas. A seguir aparece complexidade na infra-estrutura requerida, visto que esse critério é de extrema importância para sistemas que possuem estações fixas e utilizam radio-frequência e não serviços de terceiros. Em terceiro lugar aparece a contribuição para o controle do órgão gestor, que na posição de regulador precisa de independência e confiabilidade no sistema para atuar. Cabe salientar que a diferença foi mínima em relação ao custo da operação do sistema que tem grande relevância por exigir manutenção, mas por sua vez já possui infraestrutura e *software* implantado para receber essa alternativa. Com menor relevância aparece o domínio tecnológico por parte da empresa e a confiabilidade na transmissão dos dados respectivamente.

No caso da alternativa 3, segunda colocada, a confiabilidade na transmissão dos dados deve ser considerada como um critério importante, uma vez que a defasagem é menor que em outras tecnologias propostas. O custo de operação do sistema figura em segundo lugar dentre os critérios avaliados, pois apesar o mesmo ser elevado, a qualidade oferecida pela tecnologia combinada é compensada por sua ampla cobertura. Em terceiro lugar encontra-se o domínio tecnológico por parte da empresa mostrando a necessidade de conhecimento do órgão para obter um retorno positivo em relação ao alto investimento. Praticamente empatados a contribuição para o controle do órgão gestor e o custo de aquisição aparecem em quarto e quinto lugar e por último encontra-se a complexidade da infra-estrutura requerida.

Na terceira colocação aparece a alternativa 2. Mesmo se tratando de um sistema que se qualifica pela precisão, este não permite a possibilidade de agregar funções por si só como o caso da alternativa 1. O risco de saturação em dias atípicos e a tarifação do sistema de comunicação contribuem para essa alternativa não tenha sido escolhida.

A alternativa 4 ficou na quarta posição. O fato de se tratar uma tecnologia distinta e que exigirá um valor inicial mais alto faz com que essa alternativa se torne menos atraente para a empresa. Apesar de possuir o componente de computador de bordo, que a difere da alternativa 2, que utiliza o apenas GPS a mesma não se mantém quando comparada ao sistema misto que também possui um alto custo. O critério da confiabilidade na transmissão dos dados é considerado o mais importante na alternativa 4. Embora o custo da operação desse sistema seja mais elevado, a confiabilidade na transmissão é bastante elevada. A complexidade na infra-estrutura requerida é apontada em segundo lugar dentre os critérios, pois após a aquisição do equipamento, as demais necessidades serão terceirizadas. Empatados em terceiro lugar aparecem o custo da operação e o domínio tecnológico por parte da empresa. O preço elevado para aquisição e implantação bem como o fato de ser uma tecnologia nova para empresa confirmam a posição menor frente às outras já discutidas. A contribuição para o controle do órgão gestor e o custo de aquisição e implantação foram classificados como o quinto e o sexto critério mais importante.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo de aplicação do *Processo de Análise Hierárquica* (AHP) com o objetivo de identificar a alternativa mais adequada para a mudança tecnológica do sistema de monitoramento do transporte coletivo de Porto Alegre focando o ponto de vista do órgão gestor. O método se mostrou eficaz para a escolha por ser uma metodologia que possibilita o emprego de termos de fácil entendimento uma vez que os colaboradores da pesquisa desconheciam o método.

Em busca dos critérios mais relevantes para a decisão por parte do órgão gestor, foram consultados gestores e colaboradores que trabalham na área de tecnologia da empresa. A Razão de Consistência foi próxima a zero, o que demonstra um excelente resultado, assegurando dessa forma que a resposta encontrada é coerente, precisa, representativa e respeitosa as propriedades necessárias ao modelo utilizado.

Com base na informação obtida através da aplicação do método a alternativa composta por um sistema de identificação de passagem de veículo com rádio embarcado e estações fixas de detecção de passagem por radiofrequência foi a que obteve maior preferência. Essa preferência é explicada principalmente pelo baixo custo e por ser uma tecnologia aberta que permite alterações futuras. Essa consideração é claramente percebida uma vez que segunda alternativa preferida foi o sistema misto GPS/ RFID, demonstrando uma intenção futura de incrementar o sistema de forma gradual.

A melhoria da tecnologia busca trazer melhor confiabilidade nas informações, melhor desempenho dos indicadores operacionais e maior agilidade na tomada de decisões. A partir do trabalho realizado, futuras aplicações podem contemplar outras partes no que concerne às decisões sobre tecnologia, tais como informações aos passageiros, bilhetagem eletrônica, monitoramento de veículos e integração com sistemas semaforicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casey, RF.; Labell, L.N.; Moniz, I.; Royal, W.J.; Sheehan, M.; Sheehan, T.; Brown, A.; Foy, M.; Zirker, M.; Schweiger, L.C.; Marks, B.; Kaplan, B.; e Parker, D. (2000) *Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art Update*. U.S Department of Transportation, Washington, DC.
- EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação. (2010a) Transportes em Números – Indicadores Anuais de Mobilidade Urbana, Nº 4, Porto Alegre, RS.
- EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação. (2010b) SOMArt - Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente em Tempo Real, Manual do Usuário, Versão 1.0, Porto Alegre, RS.
- Nakanishi, Y. J. e Bekiaris, E. (2004) Economics Impacts of Intelligent Transportation Systems: Innovations and Case Studies. Research in Transportation Economics, V. 8, Oxford, United Kingdom.
- Saaty, T. L. (1980) The Analytic Hierarchy Process: Planinng, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill
- Vaidya, O. S.; e Kumar, S. (2006) Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. European Journal of Operational Research, V.169. p.1-29

Endereço dos autores

Anna Laura Tonetto Casal (alcasal@eptc.prefpoa.com.br)
Rafael Roco de Araújo (rraraujo@eptc.prefpoa.com.br)
Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC
Rua João Neves da Fontoura, 7
Bairro Azenha – Porto Alegre, RS
CEP 90050-030