

APLICAÇÃO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS – AHP EM ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADOS DE RODOVIAS: O CASO DO TRECHO NORTE DO RODOANEL MÁRIO COVAS

Marcus Vinicius Lisboa

Departamento de Transportes e Obras de Terra
Faculdade de Tecnologia de São Paulo FATEC-SP

Luiz F. R. Saragiotto

ALPHAGEOS Tecnologia Aplicada S.A.

RESUMO

Esta comunicação trata da aplicação de uma metodologia multicriterial de auxílio à tomada de decisão através de entrevistas com diversos atores da sociedade e aplicação do *Analytic Hierarchy Process* – AHP. Este modelo foi aplicado em um estudo de caso relativo ao estudo de alternativas de traçado do Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo. A metodologia leva em consideração não apenas questões geométricas de engenharia, historicamente utilizadas para a definição de diretrizes rodoviárias, mas agrega quesitos cada vez mais importantes para a sociedade moderna, como as questões sócio-ambientais.

ABSTRACT

This communication deals with the application of a multicriteria decision aid methodology through interviews with different agents and the application of the *Analytic Hierarchy Process* – AHP. This model was applied in a case study related to the study of alignment alternatives of the São Paulo Ring Road, in São Paulo metropolitan region. The methodology considers not only geometrical engineering topics, often used for highways definitions, but includes important topics in our modern society, such as social-environmental aspects.

1. INTRODUÇÃO

Problemas de tomada de decisão em Meio Ambiente são intrinsecamente complexos porque em sua maioria envolvem múltiplos atributos que necessitam muitas vezes serem avaliados de forma subjetiva, fato este reconhecido pelos Estudos de Impactos Ambientais – EIA. Segundo Marttunen; Hämäläinen (1995) os dados relativos aos impactos ambientais apresentados nos EIA são bastante úteis para o processo de tomada de decisão política se neles forem refletidas as diferentes perspectivas dos diversos agentes da sociedade, direta ou indiretamente envolvidos.

Os EIA, que a partir da década de 1970 nos EUA passaram a ser introduzidos como estudos das consequências ambientais de importantes projetos de desenvolvimento, foram introduzidos efetivamente no Brasil em 1986 a partir da Resolução CONAMA nº 01/86. Estes estudos passaram a se constituir em partes essenciais do processo de tomada de decisão para todos os grandes empreendimentos que afetam o Meio Ambiente, envolvendo a compreensiva avaliação de impactos bióticos, físicos e antrópicos dos projetos em questão. Neste sentido, uma característica importante e necessária da prática do EIA é o envolvimento dos diversos agentes da sociedade na fase de planejamento dos empreendimentos, através de audiências e reuniões.

O processo de licenciamento ambiental dos trechos norte, sul e leste do Rodoanel Mário Covas, rodovia que circundará a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, é um exemplo desta prática democrática de gestão participativa na implantação de grandes empreendimentos.

A fase considerada mais delicada e definidora do sucesso ou não de um empreendimento como o Rodoanel é a fase de estudo de alternativas, parte integrante de um EIA. O EIA dos

trechos sul, leste e norte do Rodoanel (DERSA, 2002) realiza uma análise comparativa de 2 (duas) alternativas de traçado para o denominado Trecho Norte, a alternativa “superior” e a alternativa “inferior”, definindo pela primeira como a recomendada para análise ambiental mais detalhada. Destaca-se que durante as reuniões e audiências públicas para o licenciamento ambiental deste trecho norte verificou-se diversos questionamentos quanto à seleção das alternativas no EIA, principalmente pelo fato da região atravessada por ambas as alternativas estudadas ser bastante sensível do ponto de vista ambiental, considerando a presença do Parque Estadual da Serra da Cantareira e do Parque Estadual do Juqueri, do Reservatório Paiva Castro e de setores urbanos de ocupação consolidada e/ou em processo de consolidação em São Paulo e Guarulhos.

Justamente para melhor fundamentar a decisão da alternativa recomendada para este Trecho Norte é que se analisará neste trabalho a aplicação de uma metodologia de auxílio à tomada de decisão baseada na consulta aos diversos agentes da sociedade quanto à importância relativa entre os principais critérios e indicadores de avaliação de alternativas de traçado de rodovias.

Uma análise de decisão multicriterial, baseada na interatividade com os diversos agentes da sociedade, auxiliará tecnicamente na escolha da melhor alternativa de traçado para o Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas. Trata-se de um método natural para este propósito, ainda não amplamente conhecido pelos pesquisadores e tomadores de decisão, e que se constitui em uma base documentada do processo decisório de escolha da melhor alternativa. Baseia-se em análises e avaliações conjuntas dos diversos aspectos característicos de cada alternativa de traçado para a nova rodovia, dentre eles os tradicionalmente adotados, como custos de obra, aspectos geométricos, aspectos geotécnicos, entre outros, e os de características sócio-ambientais como os ruídos, desmatamentos e os reassentamentos populacionais, entre outros.

2. TRECHO NORTE DO RODOANEL MÁRIO COVAS

O Rodoanel Mário Covas é um empreendimento rodoviário com objetivos múltiplos, que tem como função principal desviar do perímetro urbano da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP os veículos de passagem e de cargas. Deverá atender tanto às demandas de transporte de cargas quanto de transporte de passageiros, podendo canalizar viagens exclusivamente rodoviárias (com origens e destinos fora da RMSP) ou viagens internas (com origem e destino na RMSP). Apresenta, ainda, um grande potencial como elemento estruturador do uso e ocupação do solo e do processo de expansão urbana, notadamente em áreas sem limitações de caráter ambiental (DERSA, 1998).

O traçado do Rodoanel Mário Covas completo contempla a interligação de dez principais rodovias que acessam a RMSP e de outras vias urbanas estruturadoras, estendendo-se ao longo 19 municípios, com aproximadamente 174 km de extensão. Sua implantação será dividida em quatro etapas: o trecho Oeste, que já se encontra em operação, e os demais trechos (Sul, Leste e Norte), que estão na fase de licenciamento ambiental.

As duas alternativas de traçado para o Trecho Norte analisados por DERSA (2002) são as denominadas “superior” e “inferior”. A alternativa “superior” compreende o sub-trecho entre a Av. Raimundo Pereira de Magalhães, na interseção com o Trecho Oeste, desenvolvendo-se ao norte da Serra da Cantareira e ao sul do Reservatório Paiva Castro, cruza a BR381-Rod. Fernão Dias na área urbana do município de Mairiporã, a partir daí estende-se até a SP036-

Estrada Guarulhos – Nazaré Paulista. A partir da SP036 até a BR116-Rod. Pres. Dutra a diretriz de traçado para ambas alternativas é única.

A alternativa “inferior” compreende o sub-trecho entre a Av. Raimundo Pereira de Magalhães, na interseção com o Trecho Oeste, desenvolvendo-se em longos túneis sob o Parque Estadual da Serra da Cantareira, ao norte da mancha urbana do município de São Paulo, cruza a BR381-Rod. Fernão Dias na divisa de município entre São Paulo e Guarulhos, a partir daí estende-se até a SP036-Estrada Guarulhos – Nazaré Paulista, passando próximo ao Aeroporto Internacional de Cumbica.

A figura 1 a seguir ilustra as duas alternativas objeto de análise deste estudo e as áreas ambientalmente sensíveis por elas atravessadas (1-alternativa “inferior” e 2 - alternativa “superior”). Nota -se que na figura 1 também é apresentada a alternativa 3 não analisada pelo EIA-RIMA e nem por este artigo, pois se trata de uma alternativa abandonada pelo empreendedor (DERSA) durante os estudos de impactos ambientais, devido ao seu afastamento considerável do centro metropolitano, o que aumenta em muito a sua extensão; e por atravessar o Parque Estadual do Juqueri. Cabe destacar porém que os estudos em relação a esta alternativa mais externa ainda podem ser retomados pela DERSA (Folgato, 2003a).

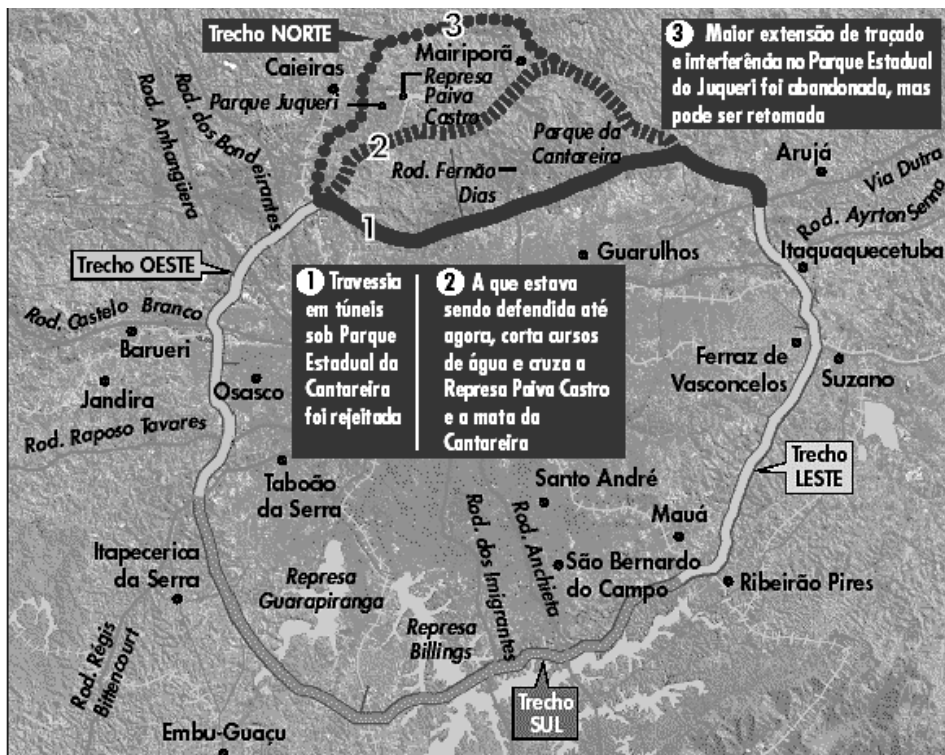


Figura 1: Alternativas de traçado Trecho Norte do Rodoanel (Folgato, 2003b).

3. O MODELO PROPOSTO

O AHP baseia-se inicialmente em uma estruturação hierárquica dos objetivos, critérios/indicadores e alternativas consideradas em estudo. Posteriormente, conforme os grupos determinados na estrutura hierárquica, realizam-se comparações entre pares de critérios/indicadores, quanto à importância de cada critério/indicador em relação ao objetivo da análise, estabelecendo matrizes de comparações paritárias. Através da técnica do autovetor (Saaty, 1980) o AHP calcula os pesos locais e globais para cada critério/indicador nos vários níveis hierárquicos e em relação às alternativas em estudo, tornando-se possível estabelecer uma ordenação das alternativas e decidir pela mais adequada neste processo de decisão.

Saaty (1990) apud Morita (1998) considera que a tarefa mais importante na análise de decisão é a escolha dos fatores relevantes para a decisão. Assim, considerando as peculiaridades do método AHP e do software disponível aplicativo do método (Expert Choice 9.0), a definição e organização dos critérios e indicadores selecionados deveria se dar de tal forma que eles fossem dispostos em uma estrutura hierárquica de no máximo quatro níveis e que a quantidade necessária de julgamentos entre pares de critérios/indicadores fosse a mínima possível, considerando a disponibilidade de dados. O resultado desta etapa pode ser verificado na tabela 2 a seguir, onde o número de julgamentos é de 27 (vinte e sete). Cabe destacar que para um conjunto de n indicadores, deve haver um total de $n.(n-1)/2$ julgamentos comparativos.

O modelo proposto foi testado por Lisboa (2002) para o traçado do Rodoanel ao sul do Parque Estadual da Serra da Cantareira, conforme alternativas de traçado apresentadas em DERSA (1999). Os resultados obtidos indicaram a viabilidade de aplicação do modelo proposto e apontaram para algumas vantagens na sua utilização. Segundo Lisboa (2002), o modelo proposto pode ser considerado como uma contribuição para a tomada de decisão, em nível estratégico e preliminar, para a classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias. De posse dos resultados do modelo e de suas análises, o tomador de decisão (o empreendedor rodoviário) pode considerar que uma decisão técnica coerente está sendo proposta, com o consenso de grupos representantes da sociedade, em conformidade com as diretrizes do desenvolvimento sustentado.

4. ESTUDO DE CASO

A metodologia foi apresentada no final de 2002 ao empreendedor do Rodoanel, DERSA, o qual se interessou em realizar uma simulação para o caso real das alternativas propostas no EIA-RIMA do Trecho Norte. Após análises e sugestões, foi decidido, juntamente com a Coordenadoria de Gestão Ambiental – CGA da DERSA, responsável pelo encaminhamento do Licenciamento Ambiental do empreendimento, pela realização da aplicação da metodologia baseada no mesmo conjunto de critérios e indicadores apresentados na tabela 2, apenas com alteração de algumas unidades de medidas, a fim de considerar valores absolutos dos impactos sócio-ambientais. São apresentados também na tabela 2 os quantitativos para as duas alternativas em análise, e suas respectivas unidades de medida.

Conforme diretrizes do AHP, uma vez definidas as alternativas de traçado, os critérios e indicadores e respectivos quantitativos, cumpre proceder à realização dos julgamentos comparativos entre os pares de critérios e indicadores estabelecidos. Como a estrutura hierárquica de critérios e indicadores é a mesma adotada em Lisboa (2002), todos os julgamentos comparativos realizados neste estudo original também são válidos para aplicação no presente artigo, contemplando os 14 (quatorze) principais setores da sociedade que, direta

ou indiretamente participam e/ou são afetados pela implantação de uma nova rodovia (Comunidade, ONG's, Entidades de Classe, Políticos, Poder Judiciário, Universidade, Imprensa, Órgãos Ambientais, Órgãos Municipais, Técnicos do Empreendedor, Consultores, Agentes Financeiros, Concessionárias de Rodovias e Empreiteiros).

Tabela 2: Quantitativos dos critérios e indicadores definidos para o Estudo de Caso

CRITÉRIOS	INDICADORES		UNIDADES	ALTERNATIVAS DE TRACADO	
	Nível 1	Nível 2		INFERIOR	SUPERIOR
ASPECTOS ECONÔMICOS	• custo de implantação		• Bilhões de R\$	3,200	1,789
ASPECTOS CONSTRUTIVOS	• obras em superfície	• áreas favoráveis	• extensão em superfície (m)	0	0
		• áreas com algumas restrições	• extensão em superfície (m)	11.340	20.780
		• áreas com severas restrições	• extensão em superfície (m)	13.270	16.740
	• obras especiais	• pontes e viadutos	• unidades	10	25
		• túneis	• extensão em túnel (m)	9.330	2.280
ASPECTOS OPERACIONAIS E DE SEGURANÇA DE TRÁFEGO	• tráfego de passagem	• raio mínimo	• extensão em raio próximo ao mínimo (m)	0	0
		• rampa máxima	• extensão em rampa próxima à máxima (m) (entre 4% e 5%)	1.337	7.398
	• tráfego local		• nº de vias locais interrompidas	23	13
	• tráfego de pedestres		• extensão em área urbanizada (m)	4.020	1.800
	ASPECTOS AMBIENTAIS	• impactos no uso do solo urbano	• desapropriações de unidades produtivas	• área em ha	2,234
• desapropriações de residências			• unidades habitacionais	4,128	233
• reassentamento populacional			• nº de famílias	1.200	110
• vegetação nativa			• área em ha	205,429	210,160
• impactos no uso do solo rural		• travessia de áreas de reflorestamento, pastagem e agricultura	• área em ha	22,808	154,700
		• emboques de túneis em Parques	• área em ha	3,315	0
		• impactos no meio físico	• interferências com recursos hídricos	• nº de cursos d'água atravessados	48
• impactos na qualidade do ar			• extensão em rampa próxima à máxima (m) (entre 4% e 5%)	1.337	7.398
• ruídos			• área urbanizada em m² sujeita a ruídos entre 50dB(A) e 100dB(A)	7,638	4,978

Fonte: DERSA (1999), DERSA(2002) e Lisboa (2002)

Os julgamentos dos diversos critérios e indicadores foram realizados por 34 (trinta e quatro) indivíduos integrantes dos setores da sociedade. Os julgamentos foram realizados quanto à importância relativa dos diversos critérios e indicadores em relação ao objetivo do modelo proposto: seleção da alternativa de traçado mais adequada para uma rodovia. Considerou-se nas comparações paritárias qual critério/indicador seria mais crítico, desejável em menor quantidade. Em seguida, o entrevistado deveria estabelecer a relação de intensidade desta importância, tal como estabelecido por Saaty (1980) e apresentada na tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Correlação de fatores de julgamento

Relação de Importância	Fatores do AHP
Mesma importância	1
Pouco mais importante	3
Muito mais importante	5
Muitíssimo mais importante	7
Extremamente mais importante	9

Após alimentação do *Expert Choice* com os dados relativos aos julgamentos entre pares de critérios/indicadores, e após verificação da Razão de Consistência das matrizes de comparações paritárias correspondentes, o software calcula as prioridades relativas de cada grupo de critério/indicador em relação ao critério/indicador posicionado no nível superior

(Peso Local). Automaticamente, o *Expert Choice* realiza a consolidação de todos os pesos, propagando o efeito dos pesos na estrutura até o nível das alternativas (Peso Global).

Dado que os resultados da aplicação do AHP são pesos globais das alternativas em relação ao objetivo, as alternativas com menores pesos são mais adequadas que as com maiores pesos, pois os critérios e indicadores mais críticos receberam maiores pesos em seus julgamentos, resultando em menores pesos para os critérios e indicadores menos críticos.

A figura 2 a seguir apresenta uma tela de análise de resultados do Expert Choice, onde são indicados os pesos globais das alternativas de traçado, relativos aos julgamentos médios de todos os questionários realizados:

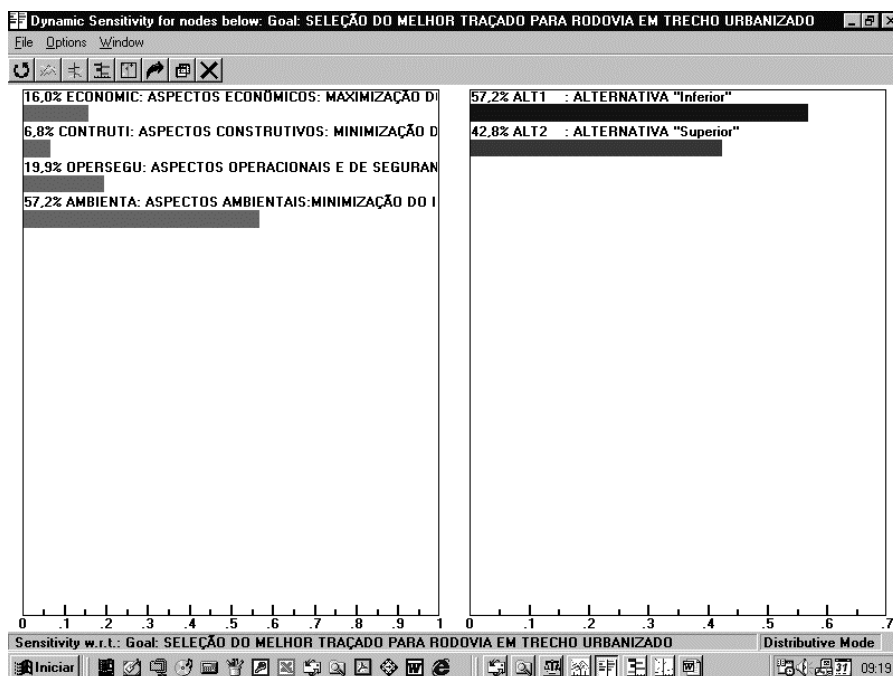


Figura 2.: Pesos globais para os aspectos principais e para as alternativas de traçado

Analisando a figura 2, a primeira coluna representa os pesos globais resultantes das ponderações de todos os entrevistados relativos aos aspectos principais de análise de alternativas de traçado (nível 1). Desta forma, em uma escala de 0 a 100%, os Aspectos Ambientais foram considerados como os mais críticos e determinantes neste estudo de alternativas, com 57,2% de peso global. Os resultados apresentados na figura 2 indicam que, na opinião do grupo entrevistado, os Aspectos Ambientais são cerca de três vezes mais importantes que os Aspectos Operacionais e de Segurança de Tráfego, cerca de três vezes e meia mais importantes que os Aspectos Econômicos e mais de oito vezes mais importantes que os Aspectos Construtivos.

Estas ponderações, juntamente com as ponderações resultantes para os níveis hierárquicos 2 e 3, definem, como resultado da aplicação do modelo para as alternativas de traçado do Trecho Norte do Rodoanel, os pesos globais apresentados na segunda coluna da figura 2: Alternativa “inferior” com 57,2% e Alternativa “superior” com 42,8%. Este resultado indica a alternativa “inferior” como a mais crítica para ser implantada, conforme a opinião dos entrevistados perante a importância relativa entre os critérios e indicadores definidos neste modelo. Desta forma, o modelo aponta a alternativa “superior” como a alternativa de traçado que apresenta as melhores condições técnicas e de opinião pública para ser implantada.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia apresentada e testada, com a utilização do método AHP indica ao tomador de decisão (o empreendedor) qual alternativa de traçado é a mais adequada para o segmento rodoviário estudado, considerando aspectos econômicos, construtivos, operacionais e de segurança de tráfego, além dos sócio-ambientais, e considera ainda a opinião dos diversos agentes direta ou indiretamente envolvidos com a implantação do empreendimento em questão.

Através dos resultados das entrevistas realizadas com diversos agentes da sociedade, os aspectos ambientais foram considerados como os mais críticos e determinantes no estudo de alternativas de traçado analisado. Com peso global superior a 50%, resultante do julgamento médio de todos os questionários, os aspectos ambientais confirmaram-se como os mais preocupantes para a sociedade como um todo, em face de um empreendimento rodoviário como o Trecho Norte do Rodoanel. Assim, entende-se que a alternativa de traçado recomendada é a que apresenta impactos ambientais menos críticos.

A aplicação do modelo proposto, caracterizado pela participação de representantes da sociedade e pela adoção de multicritérios que caracterizam cada alternativa, conforma-se como uma base documentada do processo decisório o que dificilmente acontece durante os processos de implantação de rodovias, garantindo credibilidade e justificativas técnicas das decisões tomadas. Desta forma, a indicação da alternativa mais adequada para implantação nesta etapa é realizada através de um embasamento teórico justificado por meio de documentos resultantes da aplicação do modelo (tabulação de entrevistas, simulações do *Expert Choice*, etc.).

O modelo proposto pode ser considerado como uma contribuição para a tomada de decisão, em nível estratégico e preliminar, para a classificação e seleção de alternativas de traçado de rodovias. De posse dos resultados do modelo e de suas análises, o tomador de decisão (o empreendedor rodoviário) pode considerar que uma decisão técnica coerente está sendo proposta, com o consenso de grupos representantes da sociedade, e em conformidade com as diretrizes do desenvolvimento sustentado.

O modelo proposto, aplicado nas alternativas de traçado apresentadas em DERSA (2002), indica a alternativa “superior” do Trecho Norte do Rodoanel mais adequada do que a alternativa “inferior”. Cabe destacar que se trata da mesma alternativa recomendada pela DERSA e analisada em detalhe pelo respectivo Estudo de Impacto Ambiental-EIA.

Objetivando uma análise mais aprofundada e específica para o caso das alternativas de traçado do Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas, é necessária a formatação de novos grupos com atores que de fato estejam envolvidos com a implantação do empreendimento, pois as

entrevistas realizadas por Lisboa (2002) objetivaram especificamente a validação da metodologia como pesquisa científica em nível de mestrado. É necessário, portanto, o envolvimento de associações de moradores da região de entorno da Serra da Cantareira, políticos representantes da região norte do município de São Paulo e de municípios como Guarulhos e Mairiporã, técnicos atuais dos governos dos municípios diretamente envolvidos com o empreendimento, entre outros atores.

A aplicação do modelo proposto garante que um estudo de alternativas de traçado passa a ser realizado por um modelo específico de auxílio à tomada de decisão, com a utilização de um método amplamente utilizado mundialmente, o AHP. Como se baseia em comparações de critérios e indicadores específicos e abrangentes realizados por diversos atores envolvidos com o empreendimento, a aplicação do modelo garante o envolvimento destes diversos grupos de indivíduos desde a etapa de estudo de alternativas, possibilitando discussões acerca de vantagens e desvantagens de cada alternativa, conforme características e interesses da região atravessada.

Os estudos de alternativas locais integrantes de Estudos de Impactos Ambientais necessitam considerar o mais adequadamente possível as questões sócio-ambientais e a participação da sociedade. A metodologia proposta e testada proporciona ao empreendedor uma decisão melhor fundamentada, melhor conceituando o EIA em conformidade com as diretrizes do Desenvolvimento Sustentável e com os anseios dos atores envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DERSA (1998) *Rodoanel Metropolitano de São Paulo – Trecho Oeste: Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)*. FESPSP, São Paulo.
- DERSA (1999) *Rodoanel Metropolitano de São Paulo – Trecho Norte: Estudo Funcional de Alternativas de Traçado*. Planservi Engenharia, São Paulo.
- DERSA (2002) *Estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental: Rodoanel Mário Covas – trechos norte, leste e sul (EIA-RIMA)*. Protran Engenharia, São Paulo.
- Lisboa, M.V. (2002) *Contribuição para a Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados*. POLI-USP, São Paulo.
- Marttunen, M.; Hämmäläinen R.P. (1995) Decision analysis interviews in Environmental Impact Assessment. *European journal of operational research*, v.87, p.551-563.
- Morita, H. (1998) *Revisão do Método de Análise Hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process)*. POLI-USP, São Paulo.
- Folgato, M. (2003a) *Rodoanel já teve 3 propostas de traçado*. Disponível em: <http://www.estado.estadao.com.br/editorias/2003/04/16/cid012.html>. Acessado em 16 abr/2003.
- Folgato, M. (2003b) *Propostas para o trecho norte*. Disponível em: <http://www.estado.estadao.com.br/editorias/2003/04/16/cid059.html>. Acessado em 16 abr/2003.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York; London.

Marcus Vinicius Lisboa (mvlisboa@ig.com.br)

Luiz F. R. Saragiotto (luiz.saragiotto@uol.com.br)