

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA–MAH PARA O AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO EM ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO DE RODOVIAS

Marcus Vinicius Lisboa

Mestre em Planejamento e Operações de Sistemas de Transportes pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA
2. INTRODUÇÃO DE AVALIAÇÕES AMBIENTAIS ESTRATÉGICAS E PRELIMINARES PARA PROJETOS RODOVIÁRIOS
3. UTILIZAÇÃO DE MÉTODO MULTICRITERIAL DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO PARA O ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

RESUMO

Este trabalho trata da proposição de um processo metodológico a ser empregado na etapa de planejamento de rodovias. Estuda-se a aplicação de uma análise multicriterial para a seleção de um melhor traçado para a futura rodovia, levando em consideração não apenas questões geométricas de engenharia, historicamente utilizadas para a definição de diretrizes rodoviárias, mas agregando quesitos cada vez mais importantes para a sociedade moderna, como as questões ambientais.

Realizou-se uma aplicação deste método (Estudo de Caso) ao estudo de alternativas de traçado de um trecho do Rodoanel Mario Covas, na Região Metropolitana de São Paulo, através de entrevistas com diversos atores da sociedade e aplicação do Método de Auxílio à Tomada de Decisão denominado Método de Análise Hierárquica - MAH.

Os resultados obtidos no estudo de caso apresentado permitem considerar o modelo proposto como válido para ser aplicado na etapa de planejamento de uma rodovia que atravessa área urbanizada, ensejando o início de uma avaliação de impactos ambientais em nível estratégico e preliminar, apontando os aspectos ambientais como os mais críticos e determinantes em um estudo de alternativas de traçado deste tipo. Assim, entende-se que as alternativas de traçado recomendadas através da aplicação do modelo proposto foram as que apresentaram impactos ambientais menos críticos, em conformidade com os julgamentos dos atores representantes dos diversos setores da sociedade envolvidos com o assunto.

PALAVRAS-CHAVE

AHP, Analytic Hierarchy Process, MAH, Método de Análise Hierárquica, alternativas de traçado, análise multicriterial, avaliação de impactos ambientais, meio ambiente, planejamento, rodoanel, rodovia, tomada de decisão.

1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA

A seleção dos traçados no planejamento das primeiras rodovias, projetadas e construídas através de métodos da engenharia moderna, somente considerava aspectos geométricos e geotécnicos, baseados no mínimo custo para a construção, com um relativo retorno financeiro dos investimentos. Havia pouca ou praticamente nenhuma participação da sociedade na definição da diretriz dos traçados rodoviários, que eram totalmente determinados pelo Poder Público (Lober e Wilson, 1988). Esta situação, somada ao descontrole do uso e ocupação do solo, resultou em severas consequências ao meio ambiente em todo o mundo, principalmente nas áreas lindeiras às rodovias.

Ian McHarg apud Plowman e Imhoff (1972) cita que os projetistas para a execução de um projeto de uma nova rodovia não consideravam nada além dos seguintes critérios básicos: o *mix* do tráfego entre automóveis, caminhões e ônibus; o volume de tráfego durante o horário de pico; a capacidade das novas estradas quando percorridas na velocidade de projeto; o tipo de pavimento; estruturas; alinhamentos horizontais e verticais. O autor conclui que estas considerações estão associadas a uma fórmula falsa de benefício/custo e que as consequências desta miopia institucionalizada são vistas nas cicatrizes deixadas no campo e nas cidades ao redor do mundo.

Apenas a partir da década de 1970, nos países desenvolvidos passou a fazer parte dos processos de planejamento rodoviário a preocupação com o meio ambiente e com o bem estar da população, localizada principalmente na área de influência direta do empreendimento. Em 1969, os EUA, através do ato político denominado “O Meio Ambiente Nacional” e sua subsequente legislação, já haviam criado o Conselho de Qualidade Ambiental, que passou a requerer a preparação de uma Avaliação de Impacto Ambiental para empreendimentos potencialmente impactadores do meio ambiente, dentre os quais as rodovias. Plowman e Imhoff (1972) apontam que em 1971, artigos publicados em revistas técnicas da época começavam a observar a importância do desenvolvimento da engenharia ambiental no currículo dos engenheiros, sendo que este assunto não deveria ficar restrito simplesmente aos cientistas ambientais, e sim deveria ser adotado como técnica moderna para os Planejadores e Tomadores de Decisão.

A partir da conferência mundial sobre o meio ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, as ações desenvolvimentistas no Brasil foram aos poucos incorporando uma perspectiva ambientalista, que culminou com a implantação de políticas e princípios, na forma de uma legislação específica, estabelecendo as diretrizes básicas do licenciamento ambiental (Reis, 1999). Ainda que a Lei Federal 6938/81 já prescrevesse a elaboração de “Avaliação de Impactos Ambientais”, os Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental foram introduzidos efetivamente em nosso meio em 1986 a partir da Resolução CONAMA nº 01/86. Esta resolução, que foi o primeiro passo de um processo de aprimoramento e regulamentação do licenciamento ambiental, introduzida pelo CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabeleceu diretrizes gerais para a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, definindo ainda critérios para sua aplicação.

A questão ambiental trouxe a necessidade de se reverem paradigmas, de se processar uma mudança urgente no modo de ser, ver e agir nas relações sociedade-natureza-espço (Bittencourt, 1999). Com a retomada da política desenvolvimentista em nosso país, cresce também a importância do licenciamento ambiental nos empreendimentos ou atividades a serem implantados. Esses deverão necessariamente estar enquadrados em modelos de gestão

ambiental, sem o que não receberão as respectivas licenças necessárias à sua localização, instalação e operação (Reis, 1999).

Assim, uma vez definida a necessidade e a importância de uma nova rodovia, os estudos de alternativas de traçados devem ser muito menos dominados pelos fatores puramente econômicos, pois mais peso deve ser dado para fatores sócio-ambientais. Além disso, cada vez mais há necessidade de desenvolver engenheiros que possam compreender os fatores ambientais envolvidos em um projeto rodoviário, que possam interpretar definições de ecologia e da ciência ambiental como um todo, e que possam adotar o uso destes fatores como parte de um sistema, a fim de atingir a decisão final. (Estes comentários de Plowman; Imhoff (1972) foram realizados no início da década de 1970, porém ainda são bastante atuais para a engenharia rodoviária brasileira).

Segundo Pomeranz (1992), a seleção e/ou priorização de projetos deve ser realizada num processo de tomada de decisão em que a racionalidade econômica, ou a eficiência, se constitua em apenas uma das racionalidades pelas quais se pauta a decisão, e que nem sempre é a mais importante. O critério de racionalidade econômica é parcial e insuficiente para fundamentar o processo de decisões de investimento, sendo preciso identificar as múltiplas racionalidades presentes nesse processo.

Bublitz (1999) ao analisar o desenvolvimento tecnológico brasileiro sintetiza como duas as visões de política ambiental encontrada atualmente nos diversos setores, inclusive na Engenharia Rodoviária: a Visão da Economia Neo-Clássica, ou Liberal, e a Visão Eco-Desenvolvimentista, ou Intervencionista. Ele caracteriza seus principais aspectos e confirma que o Desenvolvimento Sustentável é o arcabouço do desenvolvimento humano neste novo milênio e que deverá ser garantido por meio de uma política ambiental intervencionista. A tabela 1 a seguir apresenta uma comparação das principais características destas duas visões.

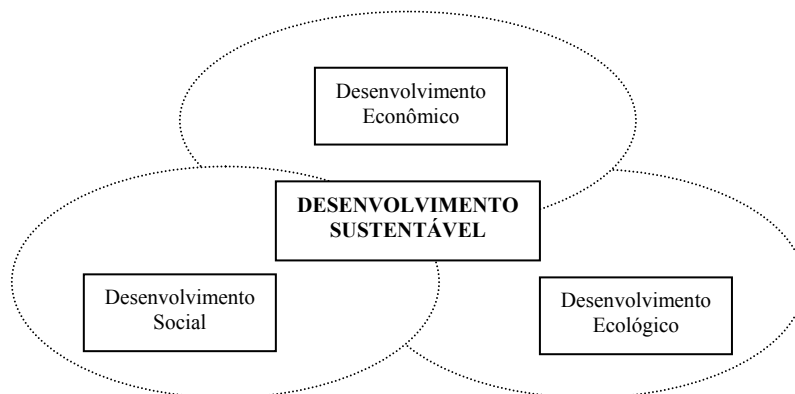
Tabela 1.: Política Ambiental – Duas Visões

TEMA	VISÃO INTERVENCIONISTA	VISÃO LIBERAL
Causas dos problemas ambientais	Atual estilo de desenvolvimento	Imperfeições de mercado
Solução	Novo estilo de desenvolvimento	Ajuste no mecanismo de preços, incorporando as externalidades
Principal Instrumento	Planejamento participativo	Taxa de poluição, venda de licenças para poluir
Política Ambiental	Incluir diferentes aspectos do meio ambiente. Interação com as demais políticas setoriais de desenvolvimento do país	Sinônimo de política de controle da poluição

Fonte: Bublitz (1999)

Fundamentado neste arcabouço, o do Desenvolvimento Sustentável, é que a engenharia rodoviária deve se desenvolver, desde os estudos de alternativas de traçado, a fim de que a partir do planejamento de uma nova rodovia, a garantia da melhor técnica esteja coerentemente equilibrada com aspectos econômicos, sociais e ecológicos intrínsecos aos projetos de infraestrutura. A figura 1 a seguir ilustra as bases fundamentais do Eco-Desenvolvimento ou Desenvolvimento Sustentável:

Figura 1.:Bases Fundamentais do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Vera e Waisman (2000)

2. INTRODUÇÃO DE AVALIAÇÕES AMBIENTAIS ESTRATÉGICAS E PRELIMINARES PARA PROJETOS RODOVIÁRIOS

Durante a década de 1990 e especialmente depois do Congresso da PIARC- *Permanent International Association of Road Congresses* em Marakesh (1991), um grande número de países de todo o mundo passou a considerar a avaliação do impacto ambiental em seus empreendimentos rodoviários, conforme suas próprias decisões ou sob pressão de organismos internacionais, tais como ONU, BID ou o Banco Mundial (World Road Congress, 1995).

Segundo McCormack (2001), incorporar as considerações ambientais nos processos de planejamento e gerenciamento de rodovias está entre as principais prioridades das Agências de Transporte, especialmente nos países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento, a situação é notadamente diferente, pois outras considerações tipicamente políticas como a redução da miséria ou o desenvolvimento industrial, geralmente, precedem em importância às considerações ambientais.

Os países em desenvolvimento possuem suas próprias prioridades políticas. Há, então, um compreensível ressentimento quando agências de financiamento dos países ricos são vistas tentando influenciar as decisões de investimento em infraestrutura nestas nações. Porém, de acordo com o Banco Mundial, estratégias e programas de transporte projetados de maneira inadequada podem resultar em infraestruturas e serviços que venham a agravar as condições de pobreza, impactar sobremaneira o meio ambiente, ignorar as mudanças das necessidades de seus usuários e a exceder a capacidade das finanças públicas.

Assim, nestes países em desenvolvimento, onde a expansão da infraestrutura de transporte ainda é prioridade, e onde recursos financeiros externos são constantemente solicitados para que se viabilize a implantação principalmente de novas rodovias, a preservação ambiental tem sido garantida, na medida do possível, devido à influência destes organismos internacionais de financiamento, que atualmente estipulam condições ambientais e sociais relativas a um projeto, a fim de que os financiamentos sejam garantidos. Como resultado desta política, a maioria dos atuais empreendimentos de infraestrutura ao redor do mundo segue, pelo menos, algum nível de avaliação de impacto ambiental em seus projetos e obras (McCormack, 2001).

Os técnicos concordam que a imposição de estudos ambientais e de segurança, exigidos pelas agências de financiamento, aumentam os custos iniciais, porém acreditam que o produto final

torna-se muito melhor devido a este investimento inicial. Se esses estudos são realizados o mais breve possível, durante o planejamento de um novo empreendimento rodoviário, certamente haverá benefícios reais durante todo o restante do processo. Os problemas detectados pelos estudos ambientais podem geralmente ser corrigidos de maneira muito mais econômica nas etapas iniciais, do que se forem encontrados mais adiante. Portanto, o grande valor dos estudos ambientais atualmente está no reconhecimento de ser o mais correto e econômico caminho para assegurar o bom desenvolvimento de um empreendimento rodoviário (McCormack, 2001).

Nos países desenvolvidos as mudanças na legislação ocorridas particularmente nas duas últimas décadas, tornaram muito mais difícil a implantação de novas rodovias. A intensidade com que as considerações ambientais influenciam atualmente as decisões de investimento nestas nações tem sido vista como “um tipo de luxo” que somente pode ser levado em consideração devido à maioria de suas redes de transporte já estar concluída, e também porque estas nações possuem condições financeiras para arcar com os custos adicionais conseqüentes (McCormack, 2001).

Nos EUA, os projetos de rodovias passaram por grandes mudanças a partir de 1990. Projetistas e construtores tomaram consciência que eles devem ser muito mais sensíveis ao impacto das rodovias no meio ambiente e nas comunidades. Isto pode ser observado em diversas agências estaduais de transporte, incluindo as agências nacionais *Federal Highway Administration* - FHWA e *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO, as quais estão implementando o denominado “Context Sensitive Design – CSD”, que constitui enfoque abrangente e multidisciplinar para a avaliação dos impactos decorrentes de novos projetos rodoviários. O CSD propõe justamente dar maior relevância aos impactos ambientais. Atualmente este conceito está sendo posto em prática em cinco projetos pilotos (Connecticut, Kentucky, Maryland, Minnesota e Utah), onde está sendo buscado o equilíbrio entre as necessidades de transporte e as preocupações ambientais e estéticas das comunidades (McCormack, 2001).

Considerando os procedimentos atuais de planejamento rodoviário envolvem muitas etapas, sejam elas jurídicas, econômicas, ambientais e administrativas, além, claro, do próprio projeto de engenharia. Considerando que, segundo Evans e Wilkes (1992), o princípio fundamental que deve ser alcançado ao redor do mundo é um razoável equilíbrio entre os benefícios para a comunidade como um todo e entre as necessidades de indivíduos e organismos, afetados diretamente pelo empreendimento. A Tomada de Decisão em transporte tem se tornado um processo de compartilhamento entre propósitos e necessidades das Agências de Transporte e da população, que vão desde o lançamento de alternativas de traçado, escopo da avaliação de impactos, medidas mitigadoras, até a escolha da alternativa de traçado a ser detalhada e posteriormente implantada. O planejamento do empreendimento e a tomada de decisão devem ter caráter aberto e cooperativo, tratando dos interesses conflitantes conjuntamente, através de um processo criativo, produzindo esforços sinérgicos que geralmente induzem a resultados positivos.

Por esta razão, torna-se claro porque os atuais investimentos em rodovias ao redor do mundo exigem que problemas de proteção ambiental estejam incluídos em todos os estágios do planejamento, do projeto, da obra e da operação de uma rodovia. Assim, partindo do princípio de que a implantação de uma rodovia seja componente integrante de um Planejamento Sócioeconômico e de Distribuição Espacial, o cumprimento de todas as etapas do empreendimento deve estar concatenado com todas as demais atividades, incluindo a Avaliação de Impactos Ambientais.

A estrutura de interdependência entre as etapas de Planejamento, Projeto e Processo de Avaliação de Impactos Ambientais para um empreendimento rodoviário, apresentada por Uzelac e Veljkovic, (1995), mostra que a Avaliação de Impactos Ambientais é definida por três estágios básicos:

- *Strategic Environmental Impact Assessment* (SEIA), ou Avaliação Estratégica de Impactos Ambientais, representa a mais abrangente análise espacial do quesito meio ambiente. Sua aplicação se dá nas etapas iniciais de planejamento e projeto. Relaciona-se primeiramente a etapas criativas de conceituação de uma rede em nível de ocupação territorial do espaço, de tal forma a produzir condições para um inventário de recursos ecológicos, sua classificação e avaliação do nível dos riscos ecológicos.
- *Preliminary Environmental Impact Assessment* (PEIA), ou Avaliação Preliminar de Impactos Ambientais, representa a etapa de seleção do melhor traçado de uma determinada rodovia a ser implantada. Neste nível somente conceitos essenciais são apontados para a proteção e o desenvolvimento ambiental. Uma parte da análise espacial que é realizada na etapa de avaliação estratégica precede a elaboração do projeto funcional. Já a avaliação preliminar utiliza o projeto funcional para indicar a alternativa de traçado a ser detalhada posteriormente. Todos os impactos são sistematicamente definidos e quantificados nesta análise.
- *Detailed Environmental Impact Assessment*, ou Avaliação Detalhada de Impactos Ambientais, representa uma quantificação analítica detalhada, que tem como base espacial um determinado traçado já definido. Os resultados obtidos são apresentados de forma gráfica e numérica. Seus documentos suportes incluem uma pesquisa e um relatório, que consideram todos os assuntos de interesse e que são distribuídos para todas as instituições envolvidas com o projeto.

Analisando o estudo realizado por Prime Engenharia; Museo Noel Kenof Mercado; Asociación Potlatch (2000) no Corredor de Transporte Santa Cruz - Puerto Suárez, localizado na Bolívia, pode-se observar quando se tornam necessárias Avaliações Ambientais Estratégicas e Preliminares e a importância de tais avaliações para a viabilização econômica de um empreendimento rodoviário, neste caso particular através de um financiamento de recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, garantindo assim a minimização de impactos sociais e ambientais.

Este projeto trata da implantação de um trecho rodoviário, que completará uma conexão viária interoceânica da Bolívia em direção ao Brasil. Dentre os objetivos deste empreendimento estão: melhorar a eficiência do atual corredor de exportação; melhorar a competitividade das várias cadeias produtivas estabelecidas na região de Santa Cruz; promover desenvolvimento econômico e social da extensa região localizada no extremo leste do país; e promover a integração econômica com os países do MERCOSUL, especialmente com o Brasil.

Apesar de sua necessidade, importância econômica, apoio social e a prioridade confirmada pelo governo nacional boliviano, o projeto se desenvolveu de forma lenta ao longo dos últimos anos. A razão principal para esta morosidade é o fato de que investimentos desta magnitude só podem ser realizados na Bolívia mediante recursos concedidos por agências multilaterais de empréstimo e da cooperação internacional. Além disto, o projeto deste corredor tem sido objeto de controvérsias, devido aos possíveis impactos ambientais e sociais que possam ocorrer quando da sua implantação.

Prime Engenharia; Museo Noel Kenof Mercado; Asociación Potlatch (2000) concluem, portanto, que o adequado encaminhamento dos aspectos sociais e ambientais do projeto é condição necessária para a aprovação de seus financiamentos internacionais. A preparação de uma avaliação ambiental estratégica do projeto e a complementação do estudo de impacto ambiental, incorporando as diretrizes e padrões sócio-ambientais das agências multilaterais, foram os passos acordados pelo governo com o BID, para, principalmente, verificar em que condições o projeto é ambiental e socialmente viável.

Pode-se observar que neste caso particular houve a necessidade da aplicação de dois dos três estágios básicos da Avaliação de Impactos Ambientais definidos por Uzelac e Veljkovic (1995), descritos anteriormente: a Avaliação Estratégica de Impactos Ambientais (AEIA), quando se torna necessária a caracterização de toda a área de influência do corredor de exportação e de seus possíveis impactos sócio-ambientais indiretos; e a Avaliação Preliminar de Impactos Ambientais (APIA), para caracterizar a área de influência de cada alternativa de traçado rodoviário para o corredor de transporte em questão e seus possíveis impactos diretos.

Desta maneira, pode-se listar algumas razões para a introdução de Avaliações de Impactos Ambiental Estratégicas e Preliminares como instrumento de tomada de decisão:

- **Tornar o empreendimento melhor preparado para o EIA-RIMA;**

O EIA-RIMA, como descrito anteriormente, está atualmente estabelecido na maioria das nações, seja através de leis ou políticas, ou através de exigências de organismos financiadores internacionais, sendo portanto amplamente conhecido. Porém, sabe-se que o EIA-RIMA como tipicamente institucionalizado, possui certas limitações. Segundo Sadler apud Donnelly *et al.* (1998), estas limitações concentram-se nas regras descritas para o EIA relativas à tomada de decisão e no fato do estágio no qual ele é aplicado ser relativamente tardio. Com certas exceções, o EIA-RIMA está focado primeiramente em **como** uma proposta em desenvolvimento poderia se desenvolver, a fim de minimizar o impacto adverso. Neste estágio, as questões prioritárias deveriam ser **quando, onde e qual tipo** de desenvolvimento, as quais já deveriam ter sido adotadas desde o estágio mais inicial do processo político de decisão. O que acontece então é que geralmente estas decisões se dão com pouca ou nenhuma análise ambiental. Na realidade, entretanto, políticas prioritárias, alternativas tecnológicas e alternativas locais não passam por detalhadas investigações ambientais. Então, torna-se imprescindível a adoção de Avaliação de Impactos Ambientais Estratégica e Preliminar, a fim de incorporar as considerações ambientais nas alternativas desde as etapas de política, plano e programa;

- **Incorporar considerações de sustentabilidade na tomada de decisão**

Ao considerar os aspectos ambientais o quanto antes no processo de implantação de um empreendimento rodoviário, incorporando uma análise de impactos cumulativos e, considerando seus possíveis efeitos ambientais, econômicos e sociais, dirige-se às causas da deterioração ambiental, ao invés de agir em seus sintomas. Desta maneira, a tomada de decisão passa a ser fundamentada em um desenvolvimento ecologicamente sustentável;

- **Envolver o quanto antes os diversos atores direta ou indiretamente envolvidos**

Ao envolver participativamente os diversos atores afetados pela implantação de novo empreendimento, é possível discutir as diversas opiniões e considerar ou não as diferentes propostas e pontos de vista. Esta atividade aproxima o empreendedor dos demais atores da sociedade já na fase de planejamento, evitando e amenizando maiores desgastes futuros, o que significa inclusive maior agilidade e facilidade para a obtenção das futuras licenças ambientais.

3. UTILIZAÇÃO DE MÉTODO MULTICRITERIAL DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO PARA O ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO

Considerando que as avaliações ambientais em nível estratégico e preliminar vão de encontro com a política de desenvolvimento sustentável preconizada e difundida por todo o mundo, e considerando que a tomada de decisão para a definição da melhor diretriz de traçado para uma futura rodovia pode ser considerada como uma das etapas mais importantes e delicadas para o sucesso de um empreendimento rodoviário, Lisboa (2002) propõe o desenvolvimento de uma metodologia para auxílio à tomada de decisão aplicativa na etapa dos estudos de alternativas de traçado, ou seja, na etapa de planejamento de rodovias, ensejando uma avaliação ambiental estratégica e preliminar.

Um estudo de alternativas de traçado deve contemplar os aspectos ambientais, cada vez mais importantes para a sociedade contemporânea, além dos aspectos econômicos, construtivos, operacionais e de segurança de tráfego, tradicionalmente considerados. Dessa forma, a alternativa a ser escolhida será melhor embasada tecnicamente em seus aspectos ambientais, garantindo o início de uma avaliação de impactos ambientais em nível estratégico e preliminar.

Assim, um empreendimento rodoviário, caracterizado pela sua multidisciplinaridade, no que tange aos diversos aspectos de sua implantação, necessita passar por uma análise criteriosa, fundamentada em um método multicriterial de auxílio à tomada de decisão que assegure ao empreendedor, e aos demais agentes envolvidos em sua implantação, uma ordenação das alternativas de traçado propostas, indicando a solução mais adequada para que esta obtenha o Licenciamento Ambiental, seja detalhada em projeto e posteriormente seja implantada com sucesso.

Lisboa (2002) propõe então um método de avaliação multicriterial que seja parte integrante de uma Avaliação de Impactos Ambientais Estratégica e Preliminar, a fim de auxiliar o Tomador de Decisão na escolha da alternativa de traçado a ser recomendada.

Optou-se pela utilização de uma metodologia multicriterial de auxílio à tomada de decisão, pois, segundo Vincke (1992), ela fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas de forma a capacitá-lo a avançar na solução de problemas de decisão onde diversos, geralmente contraditórios, pontos de vista e critérios devem ser considerados. A utilização de uma metodologia multicriterial de auxílio à tomada de decisão justifica-se também pelo fato dela poder considerar simultaneamente critérios quantitativos e qualitativos em sua análise, ao mesmo tempo em que incorpora a experiência e a preferência dos tomadores de decisão, uma vez que caracteristicamente muitas questões ambientais, entre outras consideradas em estudos de alternativas de traçado de rodovias, são de natureza qualitativa ou subjetiva, o que torna difícil sua mensuração e/ou avaliação.

Segundo Saaty (1980), os problemas de tomada de decisão, normalmente, avaliam e consideram um grande número de elementos que aparentemente não são comparáveis entre si de forma direta. Entretanto, em se estabelecendo um procedimento que agregue tais elementos segundo propriedades comuns torna-se possível compará-los. As questões ambientais geralmente são vistas como efeitos externos ou externalidades, que se expressam principalmente através de custos sociais provocados pela atividade econômica e não ressarcidos como, por exemplo, a poluição. Estes efeitos não são captados pelo mercado, porque não estão sujeitos a preços ou compensações financeiras (Pomeranz, 1992). Logo, uma tradicional análise Benefício /Custo dificilmente consideraria adequadamente estes importantes aspectos de um projeto (os impactos ambientais).

Portanto, tendo em vista a crescente preocupação com as questões ambientais, cujos objetivos básicos estão centrados na busca do desenvolvimento sustentável, a necessidade de avaliar alternativas de traçado de um projeto rodoviário e a dificuldade para a realização desta avaliação, tornam-se cada vez mais evidentes, principalmente no que diz respeito à qualidade e à coerência desta avaliação. Assim, o modelo proposto por Lisboa (2002) para análise e avaliação de alternativas de traçado de rodovias, visando à tomada de decisão quanto à seleção da alternativa mais adequada, foi desenvolvido em três etapas:

Primeiramente, a fim de embasar a definição de um conjunto de critérios e indicadores para a análise e avaliação, realizou-se uma revisão bibliográfica de algumas experiências internacionais e uma nacional onde o estudo de alternativas de traçado considerou diversos aspectos, inclusive os ambientais. Em uma 2ª etapa, adotando a técnica denominada “brainstorming”, os objetivos, critérios e indicadores selecionados de estudos anteriores foram analisados por técnicos especialistas da área de engenharia rodoviária e da área ambiental, definindo assim o conjunto Básico de Critérios e Indicadores para a avaliação de alternativas de traçado de rodovias.

A definição de um amplo conjunto de critérios e indicadores confirmou que a adoção pura e simples de uma análise Benefício / Custo não consideraria importantes aspectos não tangíveis / não quantificáveis, por se tratarem de aspectos de caráter subjetivo e qualitativo, de difícil ou mesmo impossível mensuração / monetização. Optou-se, então, pelos Métodos Multicriteriais de Auxílio à Tomada de Decisão, a fim de superar as limitações dos métodos tradicionais. Dentre os diversos métodos multicriteriais identificou-se a ampla aplicação de um deles nas áreas de transporte e avaliações ambientais, o denominado Método de Análise Hierárquica - MAH, do inglês *Analytic Hierarchy Process* – AHP, o que levou à utilização deste método.

O MAH 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 MAH calcula os pesos locais e globais para cada critério/indicador nos vários níveis hierárquicos e em relação às alternativas em estudo. Assim, torna-se possível estabelecer uma ordenação das alternativas e decidir pela qual escolher como a 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 MAH e do software disponível aplicativo do método (Expert Choice 9.0), a definição e organização dos critérios e indicadores selecionados deveriam realizar-se 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.

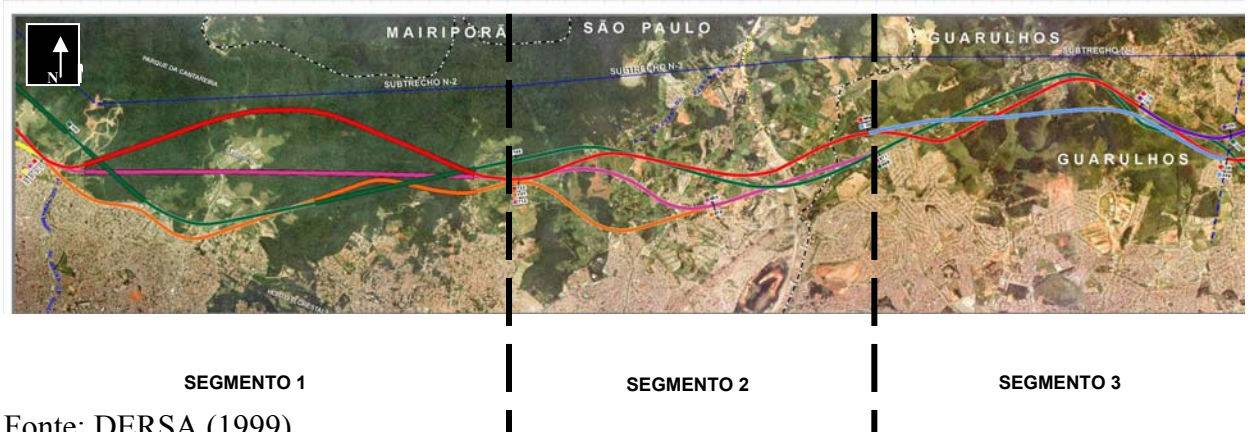
O resultado desta 3ª etapa pode ser verificado na tabela 2 a seguir, onde o número de julgamentos totais foi reduzido para 27 (vinte e sete). Cabe destacar que para um conjunto de n indicadores, deve haver um total de $n(n-1)/2$ julgamentos comparativos. Desta forma, este conjunto de critérios e indicadores passou a ser considerado como o Conjunto Final de fatores de análise para o modelo proposto.

Tabela 2: Conjunto Final de Critérios e Indicadores

CRITÉRIOS	INDICADORES		UNIDADES
	Nível 1	Nível 2	
ASPECTOS ECONÔMICOS	custo de implantação (custo de obra + custo de desapropriação + custo de reassentamento + custo operacional)		R\$
ASPECTOS CONSTRUTIVOS	obras em superfície	áreas favoráveis	% de extensão em superfície
		áreas com algumas restrições	% de extensão em superfície
		áreas com severas restrições	% de extensão em superfície
	obras especiais	pontes e viadutos	quantidade
ASPECTOS OPERACIONAIS E DE SEGURANÇA DE TRÁFEGO	tráfego de passagem	raio mínimo	% de extensão em raio mínimo
		rampa máxima	% de extensão em rampa máxima
	tráfego local		nº de vias locais interrompidas/km
	tráfego de pedestres		% de extensão em área urbanizada
ASPECTOS AMBIENTAIS	impactos no uso do solo urbano	desapropriações de unidades produtivas	área em m ²
		desapropriações de residências	unidades habitacionais
		reassentamento populacional	nº de famílias
	impactos no uso do solo rural	vegetação nativa	área em m ²
		travessia de áreas de reflorestamento, pastagem e agricultura	área em m ²
		travessia de Parques em nível	área em m ²
	impactos no meio físico	interferências com recursos hídricos	nº de cursos d'água/km
		impactos na qualidade do ar	% de extensão em rampa máxima
		ruidos	área urbanizada em m ² sujeita a ruídos entre 50dB(A) e 100dB(A)

O modelo proposto foi testado por Lisboa (2002) em segmentos do Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas, conforme alternativas de traçado apresentadas em DERSA (1999) para o traçado ao sul do Parque Estadual da Serra da Cantareira, e ilustradas na figura 2 a seguir.

Figura 2: Alternativas de traçado a serem analisadas



Fonte: DERSA (1999)

Para a aplicação do MAH, uma vez definidas as alternativas de traçado, os critérios e indicadores e respectivos quantitativos, cumpre proceder a realização dos julgamentos comparativos entre os pares de critérios e indicadores estabelecidos. Analisando a experiência de implantação de rodovias pelos órgãos governamentais e empresas concessionárias de rodovias, e considerando as citações de Lopez (1999), a relação a seguir contempla 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.

Assim, inicialmente foram selecionados 63 (sessenta e três) indivíduos integrantes dos 14 (quatorze) grupos, que representam a sociedade, através de uma amostra intencional. Após contatos e agendamentos, confirmou-se a participação de 40 (quarenta) pessoas nesta pesquisa.

Os julgamentos dos diversos critérios e indicadores foram realizados quanto à importância relativa deles em relação ao objetivo do modelo proposto: seleção da alternativa de traçado mais adequada para uma rodovia que atravessa trecho urbanizado. Para o julgamento da importância de cada critério / indicador em relação ao objetivo 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: Fatores de julgamento	
Relação de Importância	Fatores do MAH
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 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 MAH são pesos globais das alternativas em relação ao objetivo, as alternativas com menores pesos são mais adequadas que as com maiores pesos. Quanto menor for o peso global da alternativa, mais adequada ela é para ser selecionada, pois os critérios e indicadores mais críticos receberam maiores pesos em seus julgamentos, resultando em menores pesos para os critérios e indicadores menos críticos.

Os resultados alcançados foram considerados favoráveis para a aplicação do modelo proposto, pois: proporciona uma comparação de alternativas através de critérios e indicadores específicos e abrangentes, suficientes para uma avaliação estratégica ou preliminar; permite o envolvimento antecipado dos diversos atores envolvidos com o empreendimento, tornando possível o conhecimento das diversas opiniões durante a etapa de planejamento; estabelece uma base documentada do processo de decisão em uma avaliação ambiental estratégica e preliminar, entre outras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução de Avaliações Ambientais Estratégicas e Preliminares é fundamental para a garantia da qualidade e para a adequada implantação de um empreendimento rodoviário, garantindo o desenvolvimento sustentável em suas diversas etapas de implantação. Além disso, a tomada de decisão para a definição da melhor diretriz de traçado para uma futura rodovia, parte integrante das avaliações ambientais, pode ser considerada como uma das etapas mais importantes e delicadas para o sucesso do empreendimento.

Normalmente, nesta fase de estudos de alternativas de traçado de rodovias é avaliado e considerado um grande número de elementos que aparentemente não são comparáveis entre si de forma direta. Entretanto, em se estabelecendo um procedimento que agregue tais elementos segundo propriedades comuns, torna-se possível compará-los. A metodologia apresentada e testada, com a utilização do método MAH 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 ambientais, e considera ainda a opinião dos diversos agentes direta ou indiretamente envolvidos com a implantação do empreendimento em questão.

A aplicação do modelo proposto, caracterizado pela participação de representantes da sociedade civil e pela adoção de multicritérios que caracterizam cada alternativa, conforma-se como uma base documentada do processo decisório. 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 software, etc.). Assim, o principal mérito de adotar um método de auxílio à tomada de decisão neste tipo de estudo é que as decisões multidisciplinares podem ser realizadas em uma base quantitativa/qualitativa documentada. As opiniões dos diferentes agentes envolvidos com o empreendimento refletem-se nas análises através dos pesos dos critérios/indicadores atribuídos.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bittencourt, E. (1999). A Educação Ambiental na Engenharia Rodoviária. *Anais do 1º Seminário Nacional: a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias*, FUPEF, Foz do Iguaçu, p.53-60.
- Bublitz, U. Integração: Estradas e Conservação de Solos e Água. *Anais do 1º Seminário Nacional: a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias*, FUPEF, Foz do Iguaçu, p111-116.
- DERSA (1999) *Rodoanel Metropolitano de São Paulo – Trecho Norte: Estudo Funcional de Alternativas de Traçado*. Planservi Engenharia, São Paulo.
- Donnelly, A., B. Dalal-Clayton e R. Hughes (1998) *A Directory of Impact Assessment Guidelines – Strategic Environmental Assessment – SEA*. International Institute for Environment and Development – IIED, Londres, Reino Unido.
- Evans, D. I. e P. F. Wilkes (1992) Road Planning in the United Kingdom. *Routes Roads*, v.2, n.277, p.10.
- 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.

- Lober, R. e R. L. Wilson (1988) A55 North Wales Coastal St Asaph to Aber: Route Location. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, v.84, part 1, p.895-937.
- Lopez, J. A. U. (1999) Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental: Aspectos Práticos. *Anais do 1º Seminário Nacional: a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias*, FUPEF, Foz do Iguaçu, p.15-38.
- Mccormack, S. (2001) Agents of Change. *World Highways*, v.10, n.3, p.32-34.
- Morita, H. (1998) *Revisão do Método de Análise Hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process)*. POLI-USP, São Paulo.
- Plowman, E. G. e E. A. Imhoff (1972). The Inevitable Compromise – Highway Vs. The Environment. *Traffic Quarterly*, v.26, n.2, p.177-188.
- Pomeranz, L. (1992) *Avaliação de Projetos Públicos*. Metodologia Alternativa. IPE/USP, São Paulo.
- Prime Engenharia / Museo Noel Kempf Mercado / Asociación Potlatch (2000) *Eeia Y Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Santa Cruz – Puerto Suárez – Informe final*. Consórcio Prime Engenharia, São Paulo
- Reis, J.L.B.C. (1999) Licenciamento ambiental. *Anais do 1º Seminário Nacional: a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias*, FUPEF, Foz do Iguaçu, p.185-194.
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York; London.
- The Consulting Engineer (1972) Part of the Landscape: a Motorway Designed from the Outset to Blend into the Environment. *The Consulting Engineer*, v.36, n.12, p.27-29, Dec..
- Uzelac, D. e Veljkovic, M. (1995). Assesment of Environment Impact as Part of The Road Project Realization. *Anais do 20º World Road Congress – PIARC*, Communications/Papers. Montreal.
- Vera, L. A. N. e J. Waisman (2000) O Comportamento dos Usuários de Automóveis: Um Estudo sob a Ótica do Desenvolvimento Sustentável na Área de Transportes. *Anais do 14º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, Gramado, p.159-162.
- Vincke, P. (1992) *Multicriteria Decision-Aid*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.
- World Road Congress (1995) The Environment. *Anais do 20º World Road Congress – PIARC*, Montreal.