

**MOBILIDADE SUSTENTÁVEL: RELACIONANDO
TRANSPORTE E USO DO SOLO**

Profa Vânia Barcellos Gouvêa Campos

ÍNDICE

1- SUSTENTABILIDADE	4
1.1 Conceito Geral	4
1.2 Projetos relacionados com o desenvolvimento sustentável	6
2 SUSTENTABILIDADE SOB O PONTO DE VISTA DOS TRANSPORTES	8
2.1 A relação transporte e uso do solo	9
2.2 A sustentabilidade Relacionada com o Transporte	11
2.3 Conclusões sobre o tema	14
3- MÉTODOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO URBANO E DE TRANSPORTES	15
3.1 Análise Multicritério	15
3.1.1 Análise Multicritério no contexto Urbano e Regional	15
3.1.1.1 Exemplo de aplicação	19
3.1.2 Análise Multicritério aplicada a avaliação da Sustentabilidade em transporte	20
3.2 Análise Espacial	24
3.2.1 Estatística Espacial	27
3.2.2 Exemplo de Utilização da Análise Espacial	32
3.3 Sistema Espacial de suporte a decisão	33
3.3.1 Sistema de Espacial de Suporte a decisão para Planejamento urbano - SESDU	33
4- INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA E SUSTENTABILIDADE NO TRANSPORTE E USO DO SOLO	35
4.1 Indicadores de Qualidade de Vida	36
4.2 Indicadores de Sustentabilidade no transporte e Uso do Solo	37
4.3 Considerações sobre os indicadores	50
5. UM PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL DE UMA REGIÃO	54
5.1 Proposta de Indicadores	55
5.1.2 Como medir os indicadores	58

5.2 Procedimento para definição do índice de Mobilidade Sustentável	63
5.2.1 Estrutura Hierárquica dos Indicadores	63
5.2.2 Formulação do Modelo	66
5.2.4 Medição e Normalização dos Valores dos Indicadores	68
5.2.3 A definição do índice de Mobilidade Sustentável	68
5.3 Avaliação da Mobilidade Urbana no Contexto Urbano e Regional	69
6 . APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO	70
6.1 Formulação do Modelo	70
6.2 Análise dos Resultados quanto a importância dos Indicadores e Temas	72
REFERÊNCIAS	75
ANEXO – Exemplo da Planilha utilizada na pesquisa	79

1- SUSTENTABILIDADE

1.1 Conceito Geral

A definição mais comum de sustentabilidade é devida a Brundtland Commission (www.brundtland.net.com) e apresentada no relatório final, *Our Common Future*, da World Commission on Environment and Development de 1987, que define o desenvolvimento sustentável como uma forma de desenvolvimento que vai de encontro as necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidade (ou capacidade) das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades (PLUME,2003).

Assim, de acordo com o conceito generalizado de sustentabilidade, o desenvolvimento deve viabilizar soluções para os problemas atuais da população sem comprometer a capacidade das gerações futuras de também satisfazerem as suas necessidades básicas. Para Mendes (2004), este conceito não pode ser aplicado de forma restrita a unidades geográficas isoladas, como as cidades, já que a área total necessária para sustentar a cidade, muitas vezes fornecendo recursos e recebendo resíduos, é bem maior que aquelas que as sua fronteiras definem.

Também, segundo uma pesquisa realizada pela European Environmental Agency- EEA (1995), dentro do aspecto ecológico da sustentabilidade visa-se prover as necessidades dos habitantes sem impor demandas insustentáveis a nível local, tanto quanto ao sistema ecológico global. Isto porque, está claro que a área total necessária para sustentar uma moderna cidade Européia é muito maior que a cidade em si e o impacto causado pelo funcionamento da mesma vai além dos seus limites.

Esta mesma agência considera cinco princípios urbanos de sustentabilidade:

1. Capacidade Ambiental – as cidades devem ser projetadas e gerenciadas dentro dos limites impostos pelo seu ambiente natural.
2. Reversibilidade – as intervenções planejadas no ambiente urbano devem ser reversíveis tanto quanto possível de forma a não por em risco a capacidade da cidade de se adaptar a novas demandas por mudanças nas atividades econômicas e da população sem prejudicar a capacidade ambiental
3. Resistência – uma cidade resistente é capaz de se recuperar de pressões externas.
4. Eficiência – obter o máximo de benefício econômico por cada unidade de recurso utilizado (eficiência ambiental) e o maior benefício humano em cada atividade econômica (eficiência social)
5. Igualdade – igualar o acesso às atividades e serviços para todos os habitantes, isto é importante para modificar o insustentável modelo de vida devido a desigualdade social.

O segundo e o terceiro princípio parecem ser casos especiais do primeiro e assim reduzindo os princípios em três componentes da sustentabilidade: meio ambiente, economia e sociedade. A partir dos princípios anteriormente descritos, foram definidas as seguintes metas necessárias para tornar uma cidade sustentável (European Environmental Agency, 1995):

- minimizar o consumo de espaço e recursos naturais
- racionalizar e gerenciar eficientemente os fluxos urbanos
- proteger a saúde da população urbana
- assegurar igualdade de acesso a recursos e serviços
- manter a diversidade social e cultural

Haughton e Hunter (1994) propõem três princípios básicos para o desenvolvimento sustentável:

- ⇒ igualdade inter-geração: considerando a habilidade de futuras gerações em satisfazer suas necessidades
- ⇒ justiça social: tendo em vista que a pobreza causa degradação
- ⇒ responsabilidade além fronteira: os custos ambientais das áreas urbanas não devem simplesmente serem transferidos.

Um grupo de pesquisadores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal, em conjunto com pesquisadores Brasil, de duas Universidades a UNESP/ Bauru e a USP/ São Carlos, respectivamente do Departamentos de Arquitectura, Urbanismo e Paisagismo e do Departamento de Transporte vem desenvolvendo um Projeto Comum, intitulado “*Planejamento Integrado: em Busca de desenvolvimento Sustentável para cidades de pequeno e médio porte*”, que tem por objetivo investigar e desenvolver técnicas visando a criação de um sistema de apoio a Decisão capaz de promover o desenvolvimento sustentável em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e Portugal.

De acordo com as pesquisas deste grupo, apesar das variações em relação ao conceito de sustentabilidade, há pontos comuns entre as diversas definições. Um destes pontos é o “espaço **S**” da figura 1; nesta figura se observa os macroelementos considerados nos diferentes conceitos de sustentabilidade (Souza et al, 2003): meio ambiente, sociedade e economia, e onde a interseção destes elementos representa a sustentabilidade.

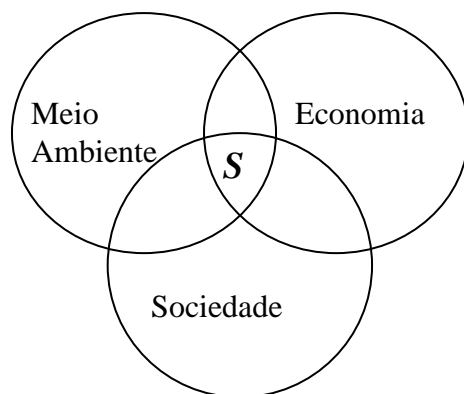


Figura 1 – Os macroelementos que integram o conceito de sustentabilidade (S)

Também, conforme citado no projeto TRANSPLUS (2002), o conceito de sustentabilidade é cada vez mais utilizado na arena política, especialmente no contexto urbano, onde quase 80% dos cidadãos da União Européia estão concentrados e onde ocorre a maior parte dos problemas ambientais, sanitários e sociais relacionados com os transportes. Embora vaga, a palavra “sustentabilidade” tem sempre a pretensão de considerar simultaneamente os impactos das atividades humanas numa perspectiva ambiental, de coesão social e de desenvolvimento econômico, tanto para atual como para as gerações futuras. A **avaliação de impactos** é cada vez mais necessária em todos os campos de intervenções políticas para decidir quanto a utilização ótima dos recursos limitados de que se dispõe, no sentido de intensificar a competitividade econômica, melhorar o ambiente e aumentar a coesão social nas nossas cidades. A mobilidade sustentável é uma questão-chave. Assim, os métodos e práticas para a atingi-la devem ser delineados, experimentados e amplamente divulgados para abrir caminho a melhorias na qualidade dos transportes e da vida urbana.

De acordo com Chichilnisky e HEAL (1996,1998 apud PROSPECT, 2001), existem duas definições características da sustentabilidade, a primeira inclui nos seus objetivos tanto o bem-estar da sociedade atual quanto da sociedade num futuro distante. A segunda definição é aquela que implica na conservação dos recursos naturais. Em ambos os casos, pode-se dizer que existe uma preocupação com os impactos dos planos e das políticas atuais, em que se incluem o transporte e o uso do solo urbano. E estas preocupações são observadas nos diversos consórcios entre centros de pesquisa que surgiram na Europa, a partir de 2002, e que geraram vários estudos e projetos voltados para o desenvolvimento sustentável, alguns destes são apresentadas no item 1.2 a seguir.

1.2 Projetos relacionados com o desenvolvimento sustentável

Em 1993 foi lançado o Projeto Cidades Sustentáveis, uma iniciativa do Grupo de Especialistas de Ambiente Urbano da Comissão Européia, na seqüência do livro verde sobre Ambiente Urbano. O primeiro resultado deste projeto é um conjunto de recomendações para integrar as considerações sobre ambiente urbano na Europa com as políticas nacionais e locais. São consideradas três grandes áreas: economia, mobilidade e planejamento do uso do solo. O projeto também inclui um Guia de Boas Práticas e a troca de informações e experiências através do estabelecimento de uma Rede de Cidades Sustentáveis (Mendes, 2004).

Na área de Transporte e sustentabilidade existem alguns projetos voltados principalmente para relação transporte e uso do solo como forma de promover a sustentabilidade urbana. Dentre estes projetos destacamos, aqui, o TRANSPLUS, o SCATTER, o PROPOLIS, o STELLA e o PROSPECT que são comentados a seguir.

O projeto TRANSPLUS – TRANSport Planning, Land Use Land Sustainability (2003) teve como objetivo identificar as melhores práticas na organização das políticas de transportes e usos de solo para obtenção de um padrão sustentável de mobilidade nas cidades e regiões da Europa, promovendo melhorias econômicas, sociais e ambientais. O projeto TRANSPLUS foi financiado pela Comissão Europeia dentro do 5º Programa-Quadro, Ação-Chave “Cidade de Amanhã e Herança Cultural”. O objetivo atual do grupo DG RTD da Comissão Europeia sobre “Sustentabilidade Urbana e o Patrimônio Cultural” é a promoção de investigação adicional neste campo. O TRANSPLUS faz também parte do cluster de Land Use and Transport Research (LUTR, 2004), um grupo de projetos de investigação inter-relacionados financiados pela comissão Europeia dentro do mesmo programa. Como resultado deste projeto foram identificados indicadores de uso do solo e transporte, políticas integradas de uso do solo e transporte e modelos de análise, além do desenvolvimento de estudos de caso em dez cidades Europeias.

O projeto SCATTER _ Sprawling Cities And Transport: from Evaluation to Recommendation (2002) tem como objetivo estudar as causas e conseqüências do espalhamento urbano com o objetivo de projetar e avaliar a eficiência de medidas para prevenir, mitigar ou controlar esta tendência de espalhamento que se observa na maioria das cidades na Europa. O primeiro passo deste projeto é aumentar o entendimento sobre este problema e seus impactos, através de uma revisão bibliográfica sobre os impactos e técnicas de avaliação dos mesmos e do estudo de caso em seis cidades europeias. Num segundo estágio serão estudadas cidades americanas. E o terceiro estágio compreenderá uma avaliação quantitativa das medidas direcionadas a prevenção, mitigação e controle do espalhamento urbano, associado a um processo de simulação. Como resultado deste projeto pretende-se dar recomendações para cidades europeias na implementação de transportes públicos acompanhadas de medidas para prevenir e mitigar o espalhamento urbano com o objetivo de se obter um desenvolvimento urbano sustentável.

PROPOLIS (“Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability,,2000) é um projeto de pesquisa dentro do programa europeu “Fifth Framework Programme of EC”, que faz parte do tema “Energy, Environment and Sustainable Development” e, é também uma ação chave do “City of Tomorrow and Cultural Heritage”. Este projeto se iniciou em janeiro de 2000 e compreende organizações de pesquisa de seis países: Finlândia, Alemanha, Inglaterra, Belgica e Itália.

O Objetivo do projeto PROPOLIS é pesquisar, desenvolver e testar políticas integradas de Transporte e Uso do Solo, ferramentas e metodologias de avaliação visando definir estratégias de desenvolvimento urbano sustentável e mostrar seus efeitos em cidades europeias. Os resultados deste projeto mostram que com o crescente volume de tráfego a sustentabilidade das cidades europeias está ambiental e socialmente se reduzindo apesar dos planos locais projetados para melhorar a situação. Assim, somente ações radicais podem manter o nível atual de sustentabilidade e o uso do solo e os transportes têm que ser vistos em conjunto dentro deste contexto. A sustentabilidade pode ser melhorada pela oferta de um melhor serviço de

transporte público enquanto se restringe o uso do automóvel e com políticas de uso do solo como suporte a estas medidas. Seguindo estas medidas, conforme observado através de estudos de caso em sete cidades europeias, melhora-se simultaneamente a dimensão ambiental e social da sustentabilidade sendo ainda economicamente eficientes (PROPOLIS, 2004).

STELLA (Sustainable Transport in Europe and Links and Liaisons with America) é um projeto de rede de pesquisa da *European Commission's 5th Framework Programme for Research and Development*, que se iniciou em janeiro de 2002, e tem como objetivo gerar uma troca de conhecimentos e pesquisas comuns aplicáveis em ambos os lados do Atlântico. Visa, não somente, beneficiar a comunidade de pesquisa, mas também os interesses de organizações políticas e industriais. O projeto está direcionado para cinco áreas de atuação, que foram identificadas por pesquisadores, em recentes encontros e publicações, como sendo as áreas críticas de interesse comum numa rede Transatlântica no campo dos transportes. São eles: (1) Globalização, Economia e Comercio Europeu; (2) ICT Inovação e sistemas de Transportes; (3) Sociedade, Comportamento e Transporte Público/Privado, (4) Meio Ambiente, Segurança, Saúde, Uso do solo e Congestionamento; (5) Instituições, Regulamentos e Mercados em Transportes (STELLA, 2002). Entende-se que o objetivo maior deste projeto é promover uma troca de experiências nas áreas citadas entre países da América e países da Europa.

PROSPECTS (Procedure for Recommending Optimal Sustainable Planning for European City Transport Systems, 2004) foi um projeto que se iniciou em Fevereiro de 2000 e finalizou em Fevereiro de 2003 e que também faz parte do *cluster* de Land Use and Transport Research (LUTR, 2004). O objetivo deste projeto foi desenvolver um guia para que as cidades pudessem gerar estratégias de desenvolvimento de uso do solo e transporte de forma otimizada para alcançar a sustentabilidade de acordo com suas características particulares. Para desenvolver este guia o projeto teve apoio efetivo de seis grandes cidades europeias: Endinburgh, Helsinki, Madrid, Oslo, Stockholm e Viena e teve também como subsídio um questionário enviado a aproximadamente 100 outras cidades europeias, dos quais foram obtidas 54 respostas. Uma das tarefas deste projeto foi definir propostas de integração de planos de transporte com o uso do solo para alcançar o desenvolvimento sustentável e a definição de indicadores relacionados com as metas a serem alcançadas (PROSPECT, 2001).

2 SUSTENTABILIDADE URBANA SOB O PONTO DE VISTA DOS TRANSPORTES

Para se entender a sustentabilidade relacionada com o transporte há que se conhecer um pouco sobre a relação transporte e uso do solo, ou seja, os impactos que medidas tomadas numa destas áreas possam vir a ter sobre cada uma delas, assim como, no desempenho das atividades na cidade, na mobilidade, no meio ambiente e no seu próprio desenvolvimento. Desta forma,

são apresentados a seguir alguns aspectos desta relação para em seguida abordar a questão da sustentabilidade sob o ponto de vista do transporte.

2.1 - A Relação Transporte e Uso do solo

Sabe-se que a forma como os diferentes usos _residência, comércio, indústria e outros se distribuem na cidade, gera as atividades humanas como, morar, trabalhar, fazer compras, lazer e etc, o que por sua vez, gera a necessidade de viagens entre os locais para o desenvolvimento destas diferentes atividades e, neste contexto, o sistema de transporte cria as oportunidades para esta interação, ou seja, promove a acessibilidade às diversas atividades. A acessibilidade, por sua vez, um dos fatores de decisão para implantação de uma atividade. Desta forma, identifica-se um círculo de ações em que o uso do solo tem uma influência sobre o transporte, assim como, o transporte tem influência sobre o uso do solo e sobre ele próprio. No relatório PROPOLIS (Lautso et al, 2004) apresentam-se algumas questões teóricas e estudos empíricos que procuram entender a interação entre transporte e uso do solo.

Para os autores do relatório PROPOLIS, a maioria das análises ou questões teóricas para entendimento da relação transporte e uso do solo em áreas metropolitanas incluem conceitos técnicos (sistemas de mobilidade urbana), conceitos econômicos (cidades como mercado) e conceitos sociais (sociedade e espaço urbano) que podem ser assim, resumidas:

- Impacto do Uso do solo no transporte – o impacto de uma alta densidade residencial na redução do comprimento médio de viagem é possivelmente mínimo em relação ao aumento do custo de viagem, embora a densidade de empregos esteja positivamente correlacionada com o comprimento médio de viagem. Facilidades atrativas na vizinhança podem ser vistas como um fator que induz a redução do comprimento médio de viagens. Como localizações periféricas usualmente produzem viagens mais longas, o comprimento de viagem pode ser considerado negativamente correlacionado com o tamanho da cidade. Com relação a frequência de viagem, pouco ou nenhum impacto pode ser esperado a partir de políticas de uso do solo de acordo com a teoria dos encargos com o transporte. Densidade residencial e de empregos assim como, uma extensa aglomeração e uma boa acessibilidade ao transporte público tende a estar positivamente correlacionados com a utilização do transporte público, enquanto que uma vizinhança projetada com uma mistura de lugares de trabalho e residências com distancias menores para viagens ao trabalho possivelmente aumentam a utilização de bicicletas e de caminhadas.
- Impacto do Transporte no uso do solo – o impacto do transporte sobre o uso do solo é obtido a partir de uma mudança na acessibilidade a uma localização. Uma maior acessibilidade aumenta a atratividade para localização de todo tipo de uso do solo, influenciando assim, a direção de um novo desenvolvimento urbano. Se, porém, a acessibilidade

crece em toda a cidade, isto resulta numa maior dispersão da estrutura de assentamento.

- Impactos do Transporte sobre o transporte – estes impactos são incluídos porque eles tendem a serem mais fortes do que os do uso do solo sobre o transporte e do transporte sobre o uso do solo. Enquanto o tempo e o custo de viagem têm um impacto negativo sobre as distâncias percorridas e a frequência de viagem, a acessibilidade tem um impacto positivo sobre estes mesmos parâmetros. Além disso, a escolha do modo de transporte depende da atratividade relativa de um modo comparado com todos os outros. O modo mais rápido e mais barato tem uma mais alta possibilidade de escolha, ou seja, provavelmente será o modo com maior percentual de utilização.

Em geral, considerações teóricas dão suporte a conclusão de que os impactos de medidas "impulsionadoras", isto é, medidas de uso do solo e de melhoramento dos transportes públicos, são menores que os impactos de medidas na operação do sistema tais como aumento no tempo ou custo de viagem ou outras restrições sobre a mobilidade.

Existe um número crescente de estudos empíricos sobre a interação entre transporte e uso do solo nas áreas urbanas (Lautso et al, 2004). A maioria das questões observadas nestes estudos compreende:

- **Impactos do uso do solo sobre o transporte** – A densidade residencial tem se mostrado um fator inversamente ao comprimento das viagens. A centralização de empregos implica em maiores viagens enquanto que o comprimento das viagens são menores em áreas que apresentam uma razão balanceada entre residências e empregos. Estudos americanos confirmam que facilidades atrativas na vizinhança também contribuem para médias menores de comprimento de viagem. A visão teórica de que a distancia das residências aos centros de trabalho é um fator determinante do comprimento médio das viagens foi confirmada empiricamente. Quanto maior a cidade, menor é a média das distâncias de viagens, a exceção de extensas áreas metropolitanas. Nenhum dos estudos identificou um impacto significativo de algum fator sobre a frequência de viagens. A densidade de residentes e de emprego, tanto quanto uma maior aglomeração e um rápido acesso às paradas e estações de transporte público mostraram-se positivamente correlacionadas com a demanda por transporte público. Vizinhanças "tradicionais" mostraram um mais alto percentual de não utilização do automóvel.
- **Impactos do Transporte sobre o uso do solo** - a acessibilidade é considerada como de variável importância para diferentes usos do solo. É um fator essencial para localização de lojas de varejo, escritórios e residências. Locais com alta acessibilidade tendem a ter um desenvolvimento mais rápido que outras áreas. O valor da acessibilidade para as indústrias varia consideravelmente, dependendo, principalmente, do tipo de mercadoria produzida. De uma forma geral,

melhoramentos ubíquos na acessibilidade provoca uma organização mais dispersa do uso do solo.

- **Impactos do transporte sobre o transporte** – estes impactos são incluídos porque eles tendem a ser mais fortes do que aqueles relacionados com o uso do solo e transporte. Enquanto o tempo e o custo de viagem tendem a ter um impacto negativo sobre o comprimento da viagem, a alta acessibilidade de uma localização gera longas viagens ao trabalho e ao lazer. Estudos sobre mudanças na frequência de viagens são apenas conhecidos em relação a melhoramentos no tempo de viagem que mostram que os tempos ganhos resultaram num aumento das viagens. O transporte mais rápido e mais barato é o que tem a possibilidade de maior percentual de uso. Entretanto, a oferta de transporte público gratuito não induz a uma significativa mudança de modo para os usuários de automóveis mais do que ciclistas e caminhantes.

Pelo exposto entende-se que a sustentabilidade de uma cidade tem que ter como suporte o conhecimento da interação entre transporte e uso do solo, além dos fatores e medidas que tratam isoladamente de cada um destes elementos.

2.2 – A sustentabilidade relacionada com o Transporte

Uma definição de sustentabilidade relacionada com o transporte foi proposta no projeto OECD (1999, apud PROSPECT, 2001), segundo o qual, um sistema de transporte ambientalmente sustentável é aquele que não prejudica a saúde dos habitantes ou ecossistemas e preenche as necessidades de deslocamentos dos habitantes com o uso de recursos renováveis abaixo dos níveis de regeneração ou com o uso de fontes não renováveis abaixo das taxas de desenvolvimento de recursos substitutos renováveis. Trata-se de uma definição bastante rígida porque impõe limites bastante altos de recursos, e não, um ponto de equilíbrio (*trade off*) entre os recursos.

Um grupo de pesquisadores que constituem o Working Group on Sustainable Urban Transport-WGSUT define o transporte urbano sustentável com base na Agenda 21 Local. Na visão deste grupo um sistema urbano sustentável deve apresentar as seguintes características (Working Group on Sustainable Urban Transport, WGSUT, 2004):

- ⇒ dar suporte a liberdade de movimento, saúde, segurança e qualidade de vida dos cidadãos da geração atual e futura,
- ⇒ ser eficiente ambientalmente
- ⇒ possibilitar o acesso às oportunidades e serviços para todos os cidadãos, inclusive idosos e aqueles de mobilidade reduzida, e aos não cidadãos também.

Para alcançar estes objetivos propõem:

- ⇒ promover o uso racional do automóvel favorecendo o uso de energia limpa e de combustíveis renováveis,

- ⇒ prover uma rede de transporte público regular, freqüente, confortável, moderna, abrangente e com valores competitivos;
- ⇒ fortalecer o transporte não motorizado (caminhadas e uso de bicicletas);
- ⇒ fazer o mais eficiente uso da terra;
- ⇒ gerenciar a demanda de transporte através do uso de instrumentos econômicos e planos para mudanças de comportamento e gerenciamento da mobilidade;
- ⇒ fazer um gerenciamento integrado com a participação de todos envolvidos no processo (operadores de transportes, construtores, fabricantes e etc)
- ⇒ quantificar os objetivos alcançados a curto, médio e longo prazo, com um efetivo monitoramento do sistema

O objetivo desta visão da sustentabilidade para o transporte público proposta por este grupo é que esta sirva de base para o governo e comunidades locais desenvolverem as suas próprias propostas.

O WGSUT (2004) considera que cada cidade deve desenvolver sua própria visão de desenvolvimento sustentável, e conseqüentemente um conjunto de metas, baseada numa definição comum de sustentabilidade. Devendo incluir como elementos chaves desta visão os seguintes aspectos:

1- Uma estratégia para atingir os objetivos incluindo:

- a) redução na necessidade de viajar
- b) redução no uso do automóvel e de veículos comerciais
- c) incentivo a modos alternativos de transporte
- d) melhorar a forma como a rede viária é utilizada e operada

2- Uma interligação entre as estratégias de transportes com os setores relacionados, tais como, saúde educação, questões sociais e desenvolvimento econômico.

3- Uma integrada definição de estratégias que utilize instrumentos políticos cuja ação conjunta gere melhores resultados. Tal integração deve envolver:

- a) meios de controlar o uso do automóvel, preferencialmente taxando o uso de rodovias e/ou estacionamentos, mas com limites de uso de rodovias e restrições de estacionamento como uma segunda opção;
- b) melhorar a operação do transporte público através de mudanças, nas tarifas, nível de serviço, confiabilidade e qualidade dos sistemas
- c) políticas de uso do solo para dar apoio as medidas a e b através de um aumento da densidade, do uso misto e de um desenvolvimento associado ao transporte público;

- d) melhorar a operação da rede viária, incluindo a realocação do espaço viário, traffic calming, melhoramentos de baixo custo da capacidade viária e suporte a veículos menos poluentes;
- e) tecnologia da informação para ajudar a população a utilizar o transporte e o sistema de uso do solo de forma mais eficiente, através de telecomunicação, para viajar menos.
- f) aumentar o uso da bicicleta e de caminhada dentro deste contexto
- g) utilizar medidas “suaves” que incluam a conscientização da necessidade de apoio às estratégias;
- h) melhorar o gerenciamento do transporte de carga dentro deste contexto:
- i) previsão de novas infraestruturas somente onde for fortemente justificável no contexto das medidas listadas acima.

4 – Uma aproximação entre tomadores de decisão e os demais relacionados com o problema, na definição de estratégias e numa ação efetiva dentro das responsabilidades, onde tentativas de trocas de responsabilidades devem ser possíveis.

5- Uma base para implementação que identifique uma seqüência lógica para introdução dos instrumentos em (3) envolvendo todos os relacionados com o processo e assim, evitando mudanças desnecessárias de direção.

6- Um acordo de financiamento, que aceite que as estratégias definidas anteriormente possam ser auto financiáveis com o correr do tempo e que altos níveis de gastos em infra-estrutura sejam considerados contraproducentes e desencorajados.

7- Um acordo para monitoramento do desempenho das estratégias deve ser baseado num apropriado conjunto de indicadores (relacionados diretamente com os objetivos). Além disso, deve ser prevista a utilização deste processo de monitoramento para ajudar a identificar sucessos e aumentar o entendimento da necessidade de transferência de elementos de uma estratégia particular para outra.

De acordo com o projeto PROSPECT (2004) a sustentabilidade do sistema de transporte e uso do solo deve compreender os seguintes aspectos:

- ⇒ proporcionar acesso aos bens e serviços de uma forma eficiente para todos os habitantes da área urbana;
- ⇒ proteger o meio ambiente, patrimônio urbano e cultural e o ecossistema para a geração presente;

- ⇒ não prejudicar as oportunidades das futuras gerações em alcançar, no mínimo, o mesmo bem-estar de agora, incluindo o bem-estar derivado do meio ambiente e do patrimônio cultural.

Também, neste relatório, considera-se que para alcançar a sustentabilidade como objetivo fim deve-se tentar alcançar alguns sub-objetivos, tais como:

- ⇒ Eficiência econômica
- ⇒ Vias e vizinhanças agradáveis
- ⇒ Proteção ao meio ambiente
- ⇒ Igualdade e inclusão social
- ⇒ Segurança; e
- ⇒ Contribuição ao crescimento econômico

ERL & FEBER (2000) no projeto TRANSLAND apresentam alguns métodos práticos para se obter um transporte mais sustentável e reduzir a utilização de automóveis, estes métodos foram extraídos de um trabalho intitulado “Developing the citizens network” desenvolvido na Europa, são eles:

- ⇒ aumentar a qualidade e a acessibilidade dos serviços de transporte público
- ⇒ tornar a caminhada e o uso da bicicleta mais atrativos
- ⇒ reduzir a demanda de viagens revertendo, por exemplo, a tendência dispersão de atividades em locais onde se é difícil chegar exceto por carro;
- ⇒ remover barreiras psicológicas para uso de alternativas de transporte e obter suporte público através de políticas que incentive um maior uso destas alternativas
- ⇒ tornar o transporte um componente essencial para estratégias de planejamento espacial

2.3 – Conclusões sobre o tema

A busca pela sustentabilidade nas cidades, engloba o conhecimento da interação entre as diversas atividades da mesma e seus impactos no ambiente, na sociedade e na economia urbana. A princípio a preocupação se faz em relação aos impactos a natureza, porém tem-se que observar que a implantação de medidas que minimizem o problema ambiental pode ter como consequência um impacto negativo na economia urbana e conseqüentemente no bem-estar da população. Então a dificuldade maior está em se ter medidas que procurem reduzir os problemas ambientais mas que mantenham o equilíbrio na economia urbana. Neste aspecto, se enquadra a questão dos transportes cujo benefício com a sua implantação deve estar dentro de condições ambientais e econômicas que possibilitem mantê-lo dentro das necessidades dos habitantes, procurando assim associar as características do meio urbano com uma oferta de transporte adequada. Desta forma, tenta-se estar dentro das três dimensões “suporte” para a sustentabilidade: meio ambiente, sociedade e economia.

Como apoio a tomada de decisão quanto a medidas a serem implantadas nas cidades dentro da visão da sustentabilidade, têm sido desenvolvidas algumas técnicas de avaliação que são apresentadas no item a seguir.

3 MÉTODOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO URBANO E DE TRANSPORTES

Conforme apresentado no item anterior, para se alcançar a sustentabilidade há necessidade de se definir estratégias e definir medidas que possam contribuir para o alcance da mesma. Desta forma, na tomada de decisão quanto a medidas e estratégias a serem implantadas, se faz necessário o uso de métodos de análise. Assim, neste item apresenta-se um estudo sobre técnicas de apoio a decisão e avaliação que vêm sendo utilizadas em diferentes projetos de pesquisa envolvendo o desenvolvimento urbano e de transportes.

3.1 Análise Multicritério

A Análise Multicritério tem se mostrado uma ferramenta importante quando na avaliação de cenários, e na tomada de decisão se utilizam vários critérios ou indicadores, qualitativos e/ou quantitativos combinados de forma a fornecer uma idéia mais aproximada da situação sobre a qual se pretende decidir. Esta ferramenta como se pode observar vem sendo amplamente utilizada nos estudos de qualidade ambiental e sustentabilidade (Mendes 2004).

Muitos dos métodos de Análise Multicritério desenvolvidos originaram-se da análise de escolha do consumidor. Estes métodos auxiliam os decisores quanto a estratégias a serem implementadas com base no conhecimento dos impactos, e particularmente, em relação àqueles que não podem ser monetarizados e por isto não podem ser incluídos numa análise tradicional de custo e benefício. (PLUME, Synthesis Report,2003).

A seguir são a apresentados alguns exemplos de procedimentos utilizando a Análise multicritério no ambiente urbano e regional e para avaliação da Sustentabilidade em Transporte

3.1.1 Análise Multicritério no contexto Urbano e Regional

Mendes (2004) e Ramos (2001) utilizaram a avaliação multicritério para avaliar diferentes situações dentro do contexto urbano e regional de Portugal. Mendes utilizou esta ferramenta para avaliar a qualidade de vida de 18 cidades capitais de distritos em Portugal, segundo as características regionais e sócio-econômicas destas cidades. Ramos utilizou a análise multicritério num modelo de análise espacial de localização de atividades industriais.

O procedimento básico de Análise multicritério, utilizados por ambos autores compreende as seguintes etapas:

- a) Definição de Critérios de Avaliação ou indicadores.

- b) Normalização dos valores dos critérios
- c) Definição dos pesos de cada critério
- d) Análise de risco ou cenários de Avaliação

Os critérios ou indicadores utilizados variam de acordo com o que é avaliado. Assim, por exemplo, no trabalho de Mendes foram utilizados indicadores definidos dentro de diferentes grupos de atividades ou características econômicas sociais das cidades. Como por exemplo, no grupo *comércios* foram definidos indicadores tais como: estabelecimentos comerciais trabalhistas, estabelecimentos comerciais trabalhistas por 10 000 habitantes, grandes superfícies e áreas de grandes superfícies por 10 000 habitantes. No trabalho de Ramos foram considerados diferentes grupos de fatores relacionados a atividades industriais, econômica e territorial da região em estudo e para cada um destes grupos foram definidos os critérios de avaliação.

A normalização de critérios se faz necessária porque estes, em geral, apresentam valores muito diferentes, e que não são comparáveis, o que inviabiliza a sua agregação imediata para uma análise. Desta forma, para resolver este problema é necessário normalizar os critérios ou indicadores a serem utilizados, para uma mesma escala única de valores. Existem diferentes métodos de normalização, a maior parte dos métodos utiliza valores máximos e mínimos. A forma mais simples sugerida por Ramos e Mendes é uma variação linear definida da seguinte forma (Eastman et al, 1996):

$$X_i = (R_i - R_{min}) / (R_{max} - R_{min}) * \text{Intervalo normalizado} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde R_i é o valor de critério a normalizar e, R_{min} e R_{max} são os valores máximos e mínimos dos critérios, respectivamente e, o intervalo utilizado, é, em geral [0,1].

Quando o número de valores obtidos para cada critério é suficiente para o cálculo de médias e desvios padrão com algum significado, pode recorrer-se a uma outra forma de normalização denominada de Z-score (Brossard, 1999, apud Mendes 2004), cujo valor é obtido pela seguinte equação:

$$Z \text{ score} = a \frac{R - \mu[R]}{\sigma[R]} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde R é o valor do critério a ser normalizado, $\mu[R]$ é a média dos valores dos critérios para as diferentes alternativas em consideração, e o $\sigma[R]$ é o respectivo desvio padrão. A variável a assume o valor +1 quando maiores valores de critérios contribuem positivamente para o objetivo do estudo e o valor -1 quando os valores dos critérios contribuem negativamente para o objetivo,

A atribuição de pesos aos critérios é necessária para quantificar a importância relativa de cada um em relação ao objetivo da análise. Vários são os métodos propostos e utilizados, como refere Voogd (1983) e Von Winterfeldt & Eduards (1986, apud Mendes 2004). Segundo Mendes (2004), dois métodos se destacam, por diferentes razões: a Escala de Pontos, um método simples e de rápida utilização, desenvolvido originalmente como escala de sete pontos por Osgood et al (1957, apud Mendes 2004) e o método das Comparações Par a Par, mais complexo, porém mais promissor desenvolvido por Saaty (1977, apud Mendes 2004) no contexto de Tomada de Decisão conhecido como AHP (Analytical Hierarchy Process). Este processo de definição dos pesos é realizado por um grupo de especialistas no estudo que se esta realizando utilizando-se um dos processos descritos.

A análise final é então feita a partir da agregação dos critérios (associando valores normalizados e pesos). Segundo Ramos (2001), a avaliação Multicritério, oferece alguns procedimentos para esta agregação de critérios em escala contínua (Malezewski, 1999, apud Ramos, 2001), nomeadamente a Combinação Linear Pesada (WLC, da expressão Weighted Linear Combination e a Média Pesada Ordenada (OWA da expressão Ordered Weight Average).

O procedimento WCL (Woogd,1983) combina os critérios através de uma média ponderada, podendo formalizar-se pela seguinte equação:

$$S = \sum_i w_i x_i \quad (\text{Eq.3})$$

Onde S é o valor final de cada alternativa analisada, w_i é o peso do critério ou indicador i , e x_i é o valor normalizado do critério ou indicador x . Como os pesos dos critérios somam 1,0 (um), o score final calculado vem expresso na mesma escala.

No procedimento OWA (Yager, 1988, Eastman et al, 1996, 1998) são utilizados dois conjuntos de pesos. O primeiro é o conjunto de pesos dos critérios, precisamente como utilizados no método WLC. O segundo denominado *Order Weight*, não se aplica a critérios específicos, mas sim aos critérios de acordo com uma determinada ordenação. Assim, após a aplicação dos primeiros conjuntos de pesos, conforme o WLC, os valores resultantes do produto do valor normalizado vezes os pesos são ordenados do valor mais baixo para o mais elevado. Ao critério ou indicador com valor resultante mais baixo (o primeiro da lista) é aplicado o primeiro *order weight*, ao segundo valor o segundo *order weight* e assim sucessivamente.

Fazendo variar os valores dos *order weights*, o procedimento OWA permite implementar diferentes opções de agregação associada a agregação realizada pelo WLC, mas valorizando alguns critérios que para um dado objetivo se quer otimizar ou minimizar, por exemplo. Como referem Eastman et al (1998), num processo de decisão que envolva três critérios, um conjunto de *order weights* [1 0 0] aplicaria todo o peso a um critério com menor *score*, produzindo assim, uma solução adversa ao risco (dita pessimista ou conservadora), equivalente ao operador lógico AND, já um conjunto de *order weight* [0 0 1], aplicaria todo o peso ao critério de mais alto *score* e assim produziria uma solução de elevado

risco (dita otimista) equivalente ao operador OR, um conjunto de order *weight* [0,33 0,33 0,33], por sua vez, associaria igual peso a todos os critérios, produzindo assim uma solução de risco neutro, equivalente ao WLC. Conforme se pode observar, nos dois primeiros casos apenas os *scores* extremos são considerados, o que significa que os critérios não são compensados um pelo outro (ausência de *trade off*). Já no terceiro caso, como foi atribuído um conjunto de order weights igualmente distribuídos (caso em $ow = 1/n$), os valores dos critérios são compensados (*trade off total*), no sentido em que os baixos *scores* em alguns critérios podem ser compensados por altos em outros critérios. Desta forma, este último caso seria equivalente a utilização do processo WLC, considerado assim um caso particular do processo OWA. Observa-se que num extremo está a situação em que se deseja que todos os critérios sejam satisfeitos (AND) e no outro está o caso em que se satisfaz com qualquer um dos critérios (OR) (Yager, 1988)

Os *orders weight*, segundo Mendes (2004) e Ramos (2001) não são restringidos aos três casos apresentados no parágrafo anterior, na verdade qualquer combinação é possível desde que seu somatório seja 1,0 (um). O deslocamento relativo dos *orders weight* no sentido do mínimo ou do máximo controla o nível de risco (também chamado de *ANDness*). Por sua vez, a homogeneidade de distribuição dos *orders weights* pelas posições controla o nível global de *trade off*. Estas situações podem ser entendidas através da figura 2 .

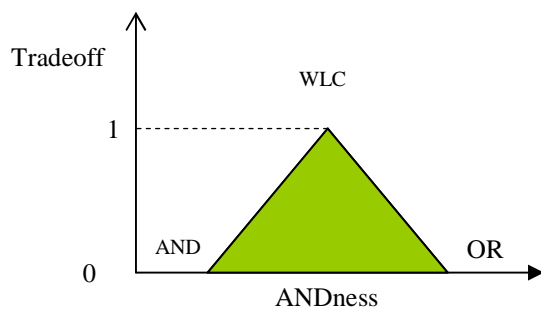


Figura 2 – Espaço Estratégico

O grau de risco (Eastman 1998 apud Ramos, 2001) é medido pela variável *ANDness* definida como :

$$ANDness = \frac{1}{n-1} \sum_i ((n-1)O_i) \quad (Eq.4)$$

e o *tradeoff* é dado por:

$$Tradeoff = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_i (O_i - 1/n)^2}{n-1}} \quad (Eq.5)$$

Onde n é o número total de indicadores ou critérios, i é a ordem do critério e, O_i é o peso atribuído em função do *order weight*, para o critério de ordem i .

3.1.1.1 Exemplo de aplicação

Como uma forma de entendimento do procedimento de Análise Multicritério apresentado acima. Apresenta-se a seguir um pequeno exercício de aplicação do procedimento.

Suponha que uma análise sobre quatro alternativas de projeto (P1, P2, P3, P4) baseada em 3 indicadores ou critérios de análise (A, B e C). De acordo com o exposto anteriormente, foram pesquisados os valores para cada um dos critérios em relação a cada alternativa de projeto que são apresentados no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Valores de Critérios por alternativa

Alternativas	P1	P2	P3	P4
Critérios				
A	7	10	6	4
B	300	1000	3000	900
C	250	100	830	450

Obtidos os valores de cada indicador/critério faz-se então a normalização, e neste caso, utilizou-se a Equação 1 com um intervalo [0,1], obtendo-se os valores normalizados apresentados no quadro 2 a seguir:

Quadro 2 : Valores normalizados dos critérios

	P1	P2	P3	P4
A	0,5	1,00	0	0,33
B	0	0,24	1,00	0,22
C	0,21	0	1,00	0,48

É importante observar que para todos os critérios se tem valores 0 (zero) quando o projeto tem valor mínimo para aquele critério e 1,00 (um) quando o projeto tem valor máximo para aquele critério. Isto ocorre porque se tomou como valores mínimos e máximos os valores dos próprios critérios. Isto pode ser diferente quando se definem valores mínimos e máximos que seriam considerados interessantes para cada critério e neste caso, não havendo coincidência destes valores com valores dos critérios, não se teria valores 0 (zero) ou 1,00 (um) como resultado da normalização. Por exemplo, suponha que para o critério A define-se que o mínimo admissível para aquele critério seja 3,0 e o máximo 12. Neste caso, os valores normalizados deste critério

para cada uma das alternativas de projeto seriam 0,44; 0,77; 0,11 e 0,33 respectivamente.

Após a normalização, parte-se para a definição dos pesos de cada critério. Neste caso utiliza-se algum dos métodos citados anteriormente que se baseia na análise dos critérios realizada por um grupo de especialistas do assunto. Neste exemplo supõe-se que esta análise foi realizada e que foram obtidos os seguintes valores de pesos para cada critério, cujo somatório é 1,00 (um): $W_a = 0,4$; $W_b = 0,5$ e $W_c = 0,1$.

Tendo-se os pesos dos critérios os scores para cada uma das alternativas de projeto conforme apresentado no quadro 3 a seguir:

Quadro 3 – Pesos dos critérios

	$W_a \times A_i$	$W_b \times B_i$	$W_c \times C_i$	Total
S1	0,4 x 0,5	0,5 x 0	0,1 x 0,21	0,221
S2	0,4 x 1,0	0,12	0	0,52
S3	0	0,5	0,1	0,6
S4	0,13	0,11	0,048	0,288

A análise acima poderia ser concluída com uma hierarquização das alternativas de projeto. Para se fazer uma análise de risco (OWA) conforme apresentada anteriormente procede-se da seguinte forma:

- ⇒ por exemplo em relação a alternativa 1 (score S1) tem-se a seguinte ordenação: 0 (B); 0.021 (C); 0,2 (A). Considerando-se a situação de risco máximo (situação otimista), ou seja aplicando-se o vetor [0.0,1] esta alternativa passaria a ter um novo valor de score $S1 = 0,2$ (soma pesada) As outras alternativas teriam também seu valores alterados considerando-se esta mesma perspectiva otimista que seriam $S2 = 0,4$; $S3 = 0,5$ e $S4 = 0,13$. E verifica-se então que neste caso teríamos alterado a hierarquia dos resultados em relação a análise com o WLC.
- ⇒ numa situação de risco mínimo (situação pessimista), ou seja aplicando-se o vetor [1,0,0] tem-se os seguintes valores resultantes por alternativa $S1 = 0$; $S2 = 0$; $S3 = 0$ e $S4 = 0,048$.

3.1.2 – Análise Multicritério aplicada a avaliação da Sustentabilidade em transporte

De acordo com o projeto PLUME- Planning and Urban Mobility in Europe (2003), uma forma simples de AMC contém uma matriz de Performance na qual cada linha descreve uma estratégia e cada coluna a performance da estratégia em relação ao critério. Cada avaliador decide, então, qual a melhor opção em relação aos seus objetivos. Este processo pode então ser estendido para mais complicadas técnicas convertendo a matriz em valores numéricos utilizando

pesos ou sistemas de escalas (Scores). A figura 3 a seguir apresenta as etapas deste procedimento.

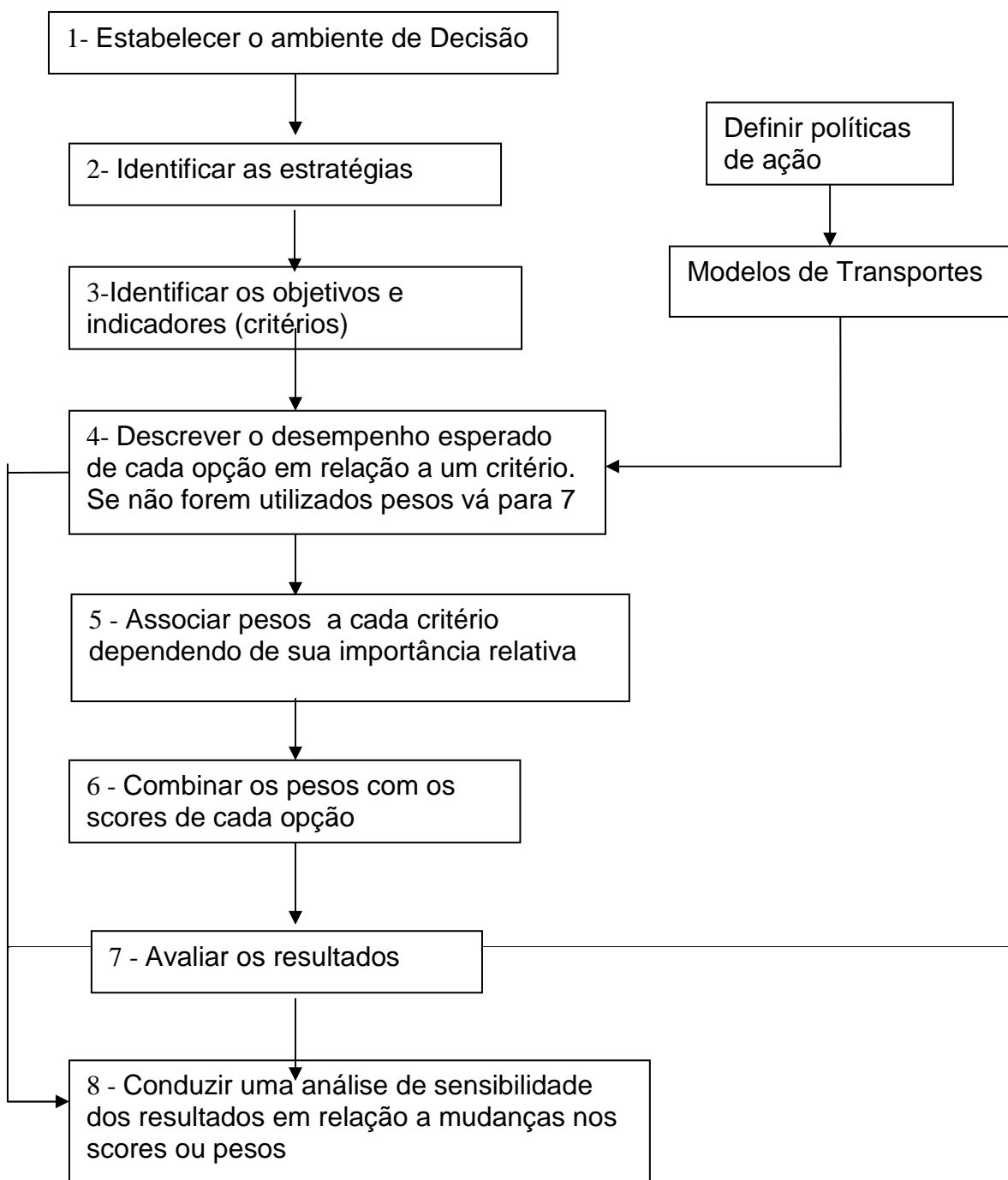


Figura 3 – Etapas de uma Análise Multicritério Adaptado de DETR (2000, apud PLUME, 2003)

De acordo com este esquema, a AMC se inicia pela definição dos objetivos e dos indicadores (critérios). Modelos de Transportes são então utilizados para prever os sistemas de transportes supondo políticas econômicas e de transporte predefinidas. Os impactos das políticas de transportes são então apresentados numa forma de tabela de impactos, que relaciona a estratégia com o critério de análise. Se não foram utilizados pesos, então o processo segue diretamente para o estágio onde os tomadores de decisão determinarão a melhor estratégia baseada na sua relação com o critério de análise. Alternativamente, utilizando AMC técnicas, os pesos podem ser aplicados a tabela de performance para determinar a relativa importância de cada critério. Estes pesos podem então ser combinados para determinar que estratégia deve ser escolhida. A seleção da melhor estratégia pode ser feita dentro de um procedimento interativo entre decisores e analistas.

Assim, a definição de índices de sustentabilidade no AMC se processa em três etapas: (1) a geração de uma lista de indicadores, (2) atribuição de valores aos indicadores e (3) atribuição de pesos. As bases teóricas dos dois últimos passos serão apresentadas a seguir. A geração de indicadores é baseada no uso do solo e em modelos de transportes

Cada indicador deve estar associado a um peso que determina a sua importância em relação a outros indicadores com o objetivo de determinar o efeito sobre o índice em função de mudanças no valor do indicador. Além disso, para fazer a associação de pesos é necessário que os indicadores estejam mensurados numa mesma escala utilizando uma função de valor.

Uma função de valor deve definir o valor correspondente entre dois indicadores, e deve se basear em duas condições do tipo: se a preferência x_1 sobre x_2 é no mínimo maior que de x_3 sobre x_4 , então: $v(x_1) - v(x_2) \geq v(x_3) - v(x_4)$.

Dois técnicas, com algumas variações servem de base para construção das funções de valores: “Razão direta” e “Métodos indiferentes”.

Na definição da função de valor pela técnica da Razão direta, os piores e os melhores valores de cada indicador correspondem aos valores mínimo e máximo da função de valor (isto é, zero e a unidade, respectivamente). Porém, os piores e melhores valores nem sempre são conhecidos antecipadamente. Ainda assim, deve-se manter as condições básicas da função de valor. Desta forma, se ocorrerem valores fora do intervalo, duas alternativas podem ser utilizadas:

- 1- extrapolação, que não é possível quando os valores das funções são utilizados para padronização de propósitos, pois poderiam gerar valores fora do intervalo padrão (isto é $[0...1]$).
- 2- redefinição da função de valor para que os novos valores estejam incluído no intervalo de valores dos indicadores.

Os “métodos Indiferentes” se baseiam na determinação de diferenças iguais em relação as preferências. Pode-se iniciar por um espaço de valores e estimar

que valores de x correspondem a valores neste espaço. Estes valores de x são chamados de sequência padrão e o método é chamado técnica da sequência padrão de diferença. Um outro método Indiferente é o método *Bisection* onde os (x_i) s que correspondem aos valores $v(x)=0$ e $v(x)=1$ são inicialmente definidos. Conseqüentemente, o x_i cujo valor é a metade entre os extremos é identificado (ou solicitado). Posteriormente, subdivisões da escala levam a um refinamento da função de valor.

Para definição dos pesos, Nijkamp et al (1990, apud PLUME,2003) apresenta um bom resumo de diferentes formas de métodos de atribuição de pesos. Uma fórmula geral de índices de sustentabilidade (IS) pode ser definida como um somatório tal como:

$$IS = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(x_i) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde,

n é o número de indicadores;
 w_i são os pesos dos indicadores, $\sum w_i = 1$
 v_i função de valor específica do indicador,
 x_i é o valor do indicador

No relatório PLUME,(2003) apresentam-se 5 métodos para obtenção de pesos:

Trade-off – todas as razões entre os pesos dos indicadores (isto é no caso de tres indicadores), w_1/w_2 , w_2/w_3 , w_1/w_3) são estimadas numa comparação par a par utilizando a pergunta “ Quão grande deve ser o valor da razão w_1/w_2 de forma que uma mudança de uma unidade no valor de x_1 é igualmente significativo quanto um melhoramento de w_1/w_2 unidades de x_2 ?

Escalonamento – primeiramente os indicadores são ordenados em relação uma escala ordinal. No caso de três indicadores, teríamos $w_1 \leq w_2 \leq w_3$. Assume-se que $\sum w = 1$ e $w_i \geq 0$ para todo i . Num espaço tridimensional onde cada valor representa os pesos de um dos indicadores, estas relações formam uma superfície. Um grande número de métodos pode ser utilizado para se chegar aos valores dos indicadores.

Declaração Verbal – Uma escale de cinco a sete pontos pode ser utilizada com descrição qualitativa dos pesos. Posteriormente estes valores verbais são transformados em valores quantitativos utilizando alguma forma de padronização.

Comparação Par a Par (AHP Analytical Hierrchy Process): o método AHP desenvolvido por Saaty (1977, apud PLUME 2003) é um procedimento dividido em três etapas: definição de uma hierarquia, definição dos pesos dos atributos local e globalmente e calculo dos valores finais por alternativas. Todos

indicadores são comparados par a par por analistas que utilizam as escalas de valores apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 Escala de valores (Saaty, 1977)

Intensidade relativa de Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo
3	Menor importância de um sobre o outro	Um dos critérios é levemente mais favorável do que o outro
5	Essencial ou forte	Um dos critérios é consideravelmente mais favorável do que o outro
7	Importância muito grande	Um dos critérios é fortemente superior ao outro e isto é observado na prática
9	Importância absoluta	A importância de um critério sobre o outro é evidentemente muito maior
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois tipos de julgamento	Quando um meio-termo é necessário
Valores recíprocos	Se um critério i tem um dos valores anteriores quando comparada com um critério j, então j tem um valor recíproco quando comparado com i	

No relatório PLUME (2003) apresenta-se, ainda, um exemplo prático de aplicação do procedimento apresentado, onde são definidos indicadores divididos segundo as três dimensões da sustentabilidade: Social, Econômica e Ambiental. Numa tabela, cada dimensão tem um índice total após o processo de atribuição de pesos e avaliação e os indicadores os seus pesos relativos. Esta tabela pode ser vista no item 4, a seguir, deste trabalho.

3.2 Análise Espacial

A Análise Espacial pode ser entendida, como um procedimento de avaliação de dados ou informações que estejam relacionados com o espaço geográfico. Esta avaliação pode ser feita a partir de uma simples observação de um mapa

que apresenta a informação no espaço geográfico ou através de técnicas que manipulam estes dados e podem apresentar em mapas o resultado de uma interação entre os mesmos no espaço geográfico.

Segundo BAILEY (1994, apud ROCHA,2004), a análise espacial seria uma habilidade geral de manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. Incluiria funções básicas como consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse definidas, manipulação de mapas e a produção de alguns breves sumários estatísticos dessa informação; incorporaria também funções como a investigação de padrões e relacionamentos dos dados na região de interesse, buscando o melhor entendimento do fenômeno e a possibilidade de se fazer predições.

De acordo com Meneses (2003) a análise espacial apresenta duas vertentes principais, são elas: estatística espacial e geocomputação. A primeira gera modelos matemáticos de distribuição e correlação, os quais incorporam propriedades de significância e incerteza, resultantes da dimensão espacial. Já a geocomputação usa técnicas de redes neurais, busca heurística e autômatos celulares para explorar grandes bases de dados e gerar resultados empíricos (não exatos) melhores que as técnicas convencionais, mas com ampla aplicabilidade prática. Estes instrumentos de análise espacial proporcionam maior confiabilidade aos resultados de investigações sobre a realidade modelada (Câmara, 2000).

Para Bertini (2003), o espaço geográfico pode ser visto de duas maneiras: pela visão de campos e pela visão de objetos. Na visão de campos (modelo de campos), o mundo real é visto como uma superfície contínua sobre a qual os objetos geográficos variam continuamente em diferentes distribuições. Cada fenômeno é uma camada contínua, sendo que não há nenhum ponto no espaço geográfico dissociado da variável representada. Como exemplo, podemos citar: fenômenos naturais, físicos ou biológicos (temperatura, pressão atmosférica, tipo de solo, vegetação etc.). Na prática, a variação contínua dos atributos é percebida como um conjunto de elementos discretos, como amostragem por pontos, isolinhas, polígonos adjacentes, grade regular de células e rede triangular irregular.

Na visão de objetos, a realidade é vista como uma superfície ocupada por objetos identificáveis e cada posição do espaço geográfico pode ou não estar ocupada por este objeto. Cada objeto possui posição, geometria e características próprias. Podem ter ou não atributos não-espaciais e podem estar associados a mais de uma representação geométrica, dependendo da escala em que são representados ou da forma como são percebidos pelo usuário. Os objetos que possuem apenas propriedades geográficas são: ponto, linha e polígono. Os objetos que possuem propriedades geométricas e topológicas são associados a redes: nó, arco unidirecional e arco bidirecional.

Segundo Bertini (2003) as relações espaciais são muito importantes em aplicações geográficas, sendo que o domínio da aplicação determinará a importância de cada tipo de relação. As relações espaciais podem ser agrupadas em três categorias:

- Topológicas: descrevem conceitos de vizinhança, incidência, sobreposição, não variando com a escala ou com a rotação, como por exemplo, disjunto, adjacente, dentro de.
- Métricas: consideradas em termos de distancias (como perto, longe) e direções (descrevem a orientação no espaço, como por exemplo, norte, sul etc.).
- De ordem (total ou parcial): são descritas por preposições do tipo em frente a, acima de, abaixo de etc.

Os dados geográficos (ou geo-referenciados) são dados espaciais cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, em um determinado instante (período de tempo). Ainda, segundo Bertini (2003), as entidades geográficas estão no espaço geográfico e são objetos identificáveis no mundo real, com características espaciais e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas. O dado espacial descreve fenômenos associados a dimensões espaciais. A representação espacial de um objeto geográfico é a descrição de sua forma geométrica associada à posição geográfica. Os dados geográficos possuem três características importantes:

- Espaciais: informam a geometria e posição geográfica do fenômeno
- Não-espaciais: descrevem o fenômeno
- Temporais: informam o período de validade dos dados geográficos e suas variações no tempo

O processo da análise espacial segundo Câmara et al. (2002) compreende um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento espacial presente no fenômeno. Os procedimentos iniciais da análise incluem o conjunto de métodos genéricos de análise exploratória e a visualização dos dados, em geral através de mapas. Essas técnicas permitem descrever a distribuição das variáveis de estudo, identificar observações atípicas não só em relação ao tipo de distribuição, mas também em relação aos vizinhos e buscar a existência de padrões na distribuição espacial. Através desses procedimentos é possível estabelecer hipóteses sobre as observações, de forma a selecionar o modelo inferencial melhor suportado pelos dados.

Os modelos de inferências espaciais são usualmente apresentados em três grandes grupos: variação contínua, variação discreta e os processos pontuais. A resolução de um problema espacial pode envolver a utilização de um deles ou a interação de alguns ou mesmo de todos:

- Variação contínua: consideram um processo estocástico, cujos valores podem ser conhecidos em todos os pontos da área de estudo.
- Variação discreta: dizem respeito à distribuição de eventos cuja localização está associada a áreas delimitadas por polígonos.
- Processo pontual: é definido como um conjunto de pontos irregularmente distribuído em um terreno, cuja localização foi gerada por um mecanismo estocástico.

Atualmente a análise espacial aparece como um campo rico para estudos de problemas urbanos e regionais, também na área de transportes, marketing e de recursos naturais. Além disso, tecnologias como Sistemas de Informações Geográficas e Sistemas de Sensoriamento Remoto têm crescido como ferramentas importantes para análise espacial. (Fisher, 1997)

A importância da análise espacial está em poder valorar estatisticamente a natureza das associações entre os diferentes dados, por meio da análise exploratória desses dados e sua conseqüente modelagem, com o emprego dos conhecimentos de estatística espacial (Rocha, 2004).

3.2.1 Estatística Espacial

A *estatística aplicada* refere-se às técnicas pelas quais os dados de natureza quantitativa são coletados, organizados, apresentados e analisados. O ponto central da análise estatística moderna é a tomada de decisões sob condições de incerteza. A *estatística descritiva* inclui as técnicas que dizem respeito à sinterização e à descrição de dados numéricos. Tais métodos podem ser gráficos ou envolver análise computacional. A *estatística inferencial* compreende as técnicas por meio das quais são tomadas decisões sobre uma população, decisões estas baseadas unicamente na observação de uma amostra ou na elaboração de um juízo. Os métodos de inferência clássica referem-se a análise de dados (objetivos) amostrais, com a exclusão de qualquer juízo ou opinião pessoal. A inferência bayesiana permite incorporar na análise estatística o uso de juízos por parte do pesquisador, bem como coloca ênfase especial em possíveis atributos relacionados com maior ou menor possibilidade do fato, ou processo, acontecerem associados com as decisões alternativas. (Pulgati, 2004)

A necessidade de quantificação da dependência espacial presente num conjunto de geodados levou ao desenvolvimento da chamada estatística espacial. Segundo Anselin (1992), “a característica que distingue a análise estatística dos dados espaciais é que seu foco principal está em inquirir padrões espaciais de lugares e valores, a associação espacial entre eles e a variação sistemática do fenômeno por localização”. Ele segue, “*além disso, afora a importância do significado geográfico que esta medida traz em si, estes padrões espaciais causam problemas de mensuração conhecidos como efeitos espaciais, tais como dependência espacial e heterogeneidade espacial, que afetam a validade dos métodos estatísticos tradicionais*”.

Segundo Rocha (2004), as técnicas de estatística espacial distinguem-se das demais técnicas empregadas em análise estatística por considerar explicitamente as coordenadas dos dados no processo de coleta, descrição ou análise dos dados. Além disso, costuma-se adotar as variáveis aleatórias como sendo dependentes, ou seja, que o comportamento de uma se modifica ao se fazer qualquer mudança na outra variável.

O mesmo autor define que estatisticamente, associa-se o conceito de dependência espacial ao de correlação. Em estatística espacial, utiliza-se o

termo autocorrelação espacial para diferenciar da correlação da estatística convencional, tendo em vista que nessa a correlação é obtida a partir de duas variáveis diferentes, sem referência a sua posição no espaço; no caso da autocorrelação, empregam-se no cálculo os valores de uma mesma variável em duas posições diferentes.

A dependência espacial pode ser medida de diferentes formas. O Índice de Moran (I) é a estatística mais difundida e mede a autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação à média, além deste índice o Diagrama de Espalhamento devido a Moran, também é uma importante ferramenta de análise da dependência espacial. Para um melhor entendimento deste tipo de análise apresentam-se a seguir os conceitos de Matriz de Vizinhaça e Média Móvel Espacial para em seguida apresentar o Índice de Moran e o Diagrama de Espalhamento de Moran baseados no trabalho de Carvalho et al. (2002) e Ramos & Silva (2003),

Matriz de Vizinhaça

É uma matriz $n \times n$ de um conjunto de n áreas (A) que representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j . Esta matriz de proximidade pode ser definida a partir de um dos seguintes critérios:

- a) $W_{ij} = 1$ se o centróide da área A_i está a uma determinada distância de A_j , caso contrário $W_{ij} = 0$.
- b) $W_{ij} = 1$ se a área A_i tem um lado em comum com A_j , caso contrário $W_{ij} = 0$.
- c) $W_{ij} = l_{ij}/l_i$ onde l_{ij} é o comprimento da fronteira comum entre A_i e A_j , e l_i é o perímetro de A_i .

Para utilização desta matriz é usual normalizar os seus valores de forma que a soma dos pesos de cada linha seja igual a 1 (um).

É importante destacar que esta matriz pode definir vizinhanças de diferentes graus ou níveis, no caso acima, definimos uma matriz de grau 1(um), $W_{ij}^{(1)}$, ou seja o vizinho mais próximo, mas em algumas situações pode ser interessante analisar a relação de proximidade num segundo ($W_{ij}^{(2)}$), terceiro nível ($W_{ij}^{(3)}$) e outros níveis de vizinhaça e nestes casos, aparentemente, o mais apropriado seria utilizar o critério (a) para definir a matriz de vizinhaça.

Média Móvel Espacial

A média móvel espacial μ'_i é medida a partir dos elementos $W_{ij}^{(1)}$ da matriz de proximidade espacial (ou vizinhaça) normalizada, tomando-se simplesmente a média dos valores dos atributos dos vizinhos de acordo com a seguinte expressão:

$$\mu'_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j \quad (\text{Eq.7})$$

z_i = valor do atributo a analisado

Trata-se de uma forma simples de explorar a variação de tendência espacial de uma região em relação a uma determinada informação ou atributo. Isto reduz a variabilidade espacial, pois tende a produzir uma superfície de informação com menos flutuação de dados.

Índice de Moran

O Índice de Moran também chamado de indicador global de autocorrelação utiliza a matriz de vizinhança normalizada e a média global do atributo analisado, de acordo com a seguinte expressão:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (\text{Eq.8})$$

n _ é o número de áreas

z_i _ é o valor do atributo na área i ;

\bar{z} _ é o valor médio do atributo na região de estudo e,

W_{ij} _ são os elementos da matriz de vizinhança normalizada

Diagrama de Espalhamento de Moran

Trata-se de uma maneira adicional de visualizar a dependência espacial definida com base nos valores dos atributos normalizados (valores dos atributos subtraídos da sua média e divididos pelo desvio padrão), permitindo analisar o comportamento da variabilidade espacial.

A idéia é comparar os valores normalizados do atributo, numa área, com a média dos seus vizinhos, construindo um gráfico de Z (valores normalizados) por Wz (média dos vizinhos) que é dividido em quatro quadrantes (figura 4). Assim, para construção deste gráfico tem-se que: W é a matriz binária de vizinhança ($n \times n$), normalizada por linha; Z é o vetor de desvio obtido, pela diferença entre o valor do atributo da zona e a média total ($Z_i = y_i - \mu$) e Wz é vetor de pesos médios obtido pelo produto de w por z , assim, cada elemento deste vetor é a média dos desvios dos vizinhos a zona i . Assim, com estes valores define-se o gráfico apresentado na figura 4.

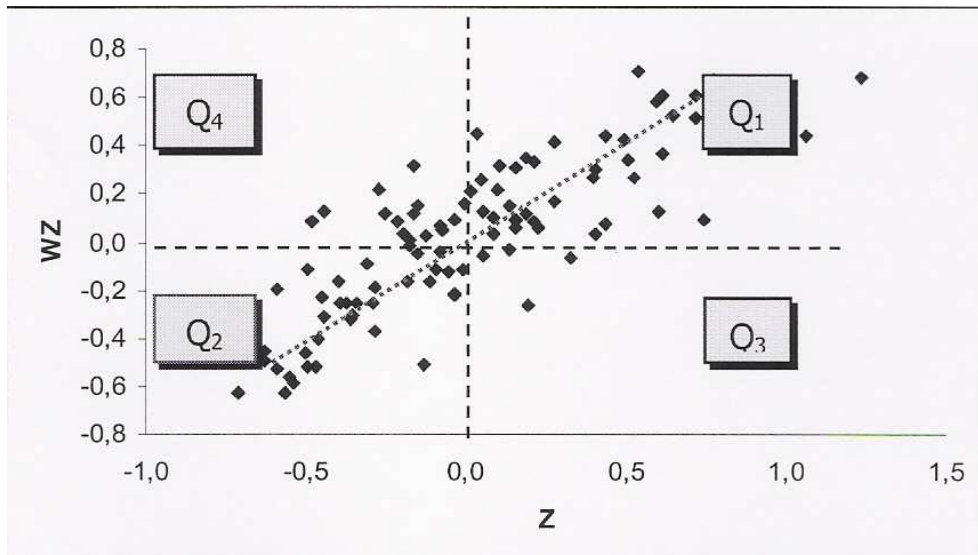


Fig 4 - Exemplo de um diagrama de espalhamento (Carvalho et al, 2002)

Neste gráfico os quadrantes Q1 e Q2 indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido em que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes. Os quadrantes Q3 e Q4 indicam pontos de associação espacial negativa.

O índice de Moran (I) é uma medida global da autocorrelação espacial, ou seja, mede a dependência espacial baseado em observações simultâneas no conjunto de n localizações. É uma medida importante, pois indica o grau de associação espacial presente no conjunto de dados, porém sintetiza inúmeras possibilidades de padrões de associação local entre as amostras georreferenciadas. São nestes padrões locais que em grande parte reside a informação relevante para análises geográficas.

Assim, para quantificar o grau de associação espacial a que cada localização do conjunto amostral está submetida em função de um modelo de vizinhança preestabelecido foi desenvolvida a estatística espacial local. Convencionou-se chamar de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) os operadores estatísticos com esta finalidade. Anselin (1995) aponta que existe uma proporcionalidade direta entre o valor da autocorrelação global e os valores das autocorrelações locais, ele demonstra que os LISAs permitem a decomposição dos indicadores globais em contribuições individuais, indicando porções territoriais de não estacionariedade e identificando aglomerados (clusters) significativos de valores semelhantes em torno de determinadas distâncias das localizações.

Similarmente aos índices globais, nos índices locais, a interdependência ou associação espacial é quantificada como autocorrelação espacial, porém nos últimos, o universo amostral restringe-se a uma determinada localização e sua vizinhança dentro de uma distância d . Dentre os LISAs mais difundidos estão o Índice Local de Moran (Ii) e as Estatísticas G_i e G_i^* .

O índice local de Moran é definido como:

$$I_i(d) = \frac{(x_i - \bar{x})}{S} \sum_j w_{ij}(d)(x_j - \bar{x}) \quad \text{para } j \neq i \quad (\text{Eq.9})$$

$w_{ij}(d)$ é o valor na matriz binária de vizinhança W (normalizada) para o par i e j para uma distância d . (onde $w_{ij} = 1$ quando i e j estão dentro uma distância d entre si e $w_{ij} = 0$ (zero) caso contrário)
 d é a medida de distância estabelecida pelo modelo de vizinhança
 x_i e x_j são valores encontrados na posição i e suas vizinhas js
 \bar{x} é a média amostral global
 S é a variância amostral global

As medidas G_i e G_i^* (Getis & Ord, 1992), assim como a de Moran, são calculadas definindo um conjunto de vizinhos que estão dentro de uma distancia critica (d) de uma dada localização (i). Para cada distância diferente uma matriz de pesos é construída, $w(d)$ ¹. Desta forma, estas medidas, indicam a extensão em que uma localização é circundada por um *cluster* de alto ou baixo valor para a variável em análise. Para cada posição ou localização i , os valores de G_i e G_i^* são definidos pelas seguintes expressões:

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j} \quad \text{para } j \neq i \quad (\text{Eq.10})$$

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j} \quad \text{para todos os } j \quad (\text{Eq.11})$$

onde:

$w_{ij}(d)$ é valor na matriz de vizinhança W para o par i e j para uma distância d
 d é a medida de distância estabelecida pelo modelo de vizinhança
 x_i e x_j são valores encontrados na posição i e suas vizinhas js

Estas duas medidas de autocorrelação espacial local, apesar de similares, devem ter seus resultados interpretados de maneiras diferentes. No índice local de Moran a autocorrelação espacial é calculada a partir do produto dos desvios em relação à média como uma medida de covariância, dessa forma, valores significativamente altos indicam altas probabilidades de que hajam locais de associação espacial tanto de polígonos com altos valores associados como com baixos valores associados. Por outro lado, baixos valores apontam para um padrão que pode ser entendido como pontos de comportamento mais errático da variável observada entre um polígono e seus vizinhos. Nas estatísticas G_i e G_i^* diferentemente, o cálculo é realizado pela soma simples das amostras vizinhas em relação a uma determinada posição i , sendo que no caso do índice G_i , o valor da localização em estudo i não é incluído na

somatória e, no caso do índice G_i^* , sim. Portanto nestas, valores significativamente altos indicam locais de associação espacial de amostras de alto valor e valores significativamente baixos indicam agrupamentos de amostras de baixos valores. A significância referida em ambos os casos dependerá da suposição de alguma distribuição estatística ou da construção de uma pseudo-distribuição empírica através de permutação (Getis e Ord,1992)

A técnica de permutação permite estabelecer significância estatística empírica do resultado obtido. Esta significância empírica é obtida a partir de uma distribuição gerada pela repetida substituição aleatória dos n valores pertencentes ao conjunto amostral nas i -ésimas localizações e calculando-se novos resultados para cada novo arranjo. Assim, tem-se a possibilidade de comparação do resultado obtido sob arranjo espacial original e os n resultados obtidos nos arranjos gerados aleatoriamente (Câmara et al.,2002).

3.2.2 Exemplo de Utilização da Análise Espacial no contexto do Planejamento Urbano e Regional

Ramos e Silva (2003), desenvolveram uma metodologia para definir uma nova delimitação da área metropolitana do noroeste de Portugal, a partir da atual Região Metropolitana do Porto. O estudo se baseou em dados de Censos de 1991 e 2001 e explorou duas vertentes da Análise Espacial.: Estatística Espacial e Modelação Espacial. No caso da estatística espacial a ênfase foi dada em relação a autocorrelação espacial. Este tipo de avaliação (Levine, 1996 apud Ramos e Silva, 2003), ao descrever a relação entre diferentes localizações para uma única variável, permite definir um grau de concentração ou dispersão. Para modelação espacial foram utilizadas Técnicas de Análise Exploratória de Dados (Exploratory Spatial Data Analyses – ESDA) em ambiente de sistemas de Informação Geográfica.

Neste estudo o diagrama de espalhamento de Moran foi adotado para identificar qual o comportamento de zonas particulares relativamente ao comportamento de zonas vizinhas envolventes. Pela análise da localização de cada zona no gráfico e no contexto geográfico é possível, segundo os autores, delimitar zonas com características semelhantes, que podem ser consideradas como uniforme segundo a variável em análise. Também, segundo os autores, essas regiões podem não corresponder a regiões metropolitanas se a variável em análise não traduzir aspectos positivos num contexto de desenvolvimento.

Para Ramos e Silva é possível, através de mapas temáticos, analisar a distribuição dos pontos do gráfico (ou diagrama) de Moran sobre o território. No estudo realizado observaram que a densidade de edifícios se constitui um atributo em que áreas de valores elevados são normalmente rodeadas por outras áreas de valores elevados também. Os valores obtidos para o índice de Moran para esta variável, nos anos relativos ao censo de 1991 e 2001, foram respectivamente 0,6561 e 0,6558. Estes valores indicaram uma elevada correlação espacial para a variável nos dois períodos. Em relação ao gráfico de Moran foi observado que das 4037 freguesias analisadas, a maioria se concentrava nos quadrantes 1 e 2 sendo que a maior concentração foi

observada no quadrante 2 (a cerca de 3000 freguesias). E, a maioria dos pontos do quadrante 1 se situa dentro da fronteira das atuais áreas metropolitanas de Lisboa e Porto.

Para fazer uma previsão da área metropolitana para o ano 2011, foi utilizada uma adaptação do conceito de Cellular Automata, identificando a transição observada de algumas freguesias entre os anos 1991 e 2001.

3.3 Sistema Espacial de Suporte a Decisão

Sistemas Espaciais de Suporte a Decisão – SESD são sistemas de apoio a decisão desenvolvidos para serem utilizados em problemas que envolvem dados relacionados com dimensões espaciais ou em situações em que a solução do problema tenha uma dimensão espacial. (Wright and Buehler, 1993, apud Ayeni, 1997). Estes sistemas integram sistemas de informações geográficas com um módulo computacional de análise espacial e de mapas e módulos de apresentação. O uso deste tipo de suporte é bastante desejável quando planejadores, políticos e tomadores de decisão estão juntos para avaliarem as decisões.

Um SESD deve possuir um gerenciador de banco de dados e um módulo gráfico e de armazenagem de informações integradas e possivelmente uma interface inteligente com o usuário. Desham (apud Ayeni, 1997) considera que em geral um sistema espacial de suporte à decisão deverá possuir um dos seguintes atributos:

- 1- Suporte para capturar dados espaciais e não espaciais
- 2- Habilidade para representar as complexas relações espaciais entre dados espaciais necessários à questão espacial, a modelagem e a representação cartográfica.
- 3- Arquitetura flexível, permitindo ao usuário combinar modelos e dados de diversas formas.
- 4- Métodos específicos para análise espacial e geográfica, incluindo estatística espacial.
- 5- Habilidade para gerar uma variedade de outputs. Incluindo mapas e outras formas mais específicas
- 6- Uma simples e integrada interface com o usuário que de suporte a uma variedade de tipos de tomada de decisão.
- 7- Uma arquitetura que suporte a adição de novas possibilidades conforme a necessidade do usuário.

3.3.1 Sistema de Espacial de Suporte a decisão para Planejamento urbano - SESDU

Segundo Ayeni (1997), um SESD para Planejamento Urbano deve conter um conjunto de subsistemas, tais como, um subsistema de banco de dados, um sistema de monitoramento, um subsistema de modelos e outros. Pode-se, de uma forma geral, considerar este sistema composto por um sistema de

informação de desenvolvimento urbano (SIDU), um sistema de monitoramento do desenvolvimento urbano (SMDU) e um sistema de modelagem urbana (SMU) (Ayeni, 1997). A figura 5, a seguir, apresenta estes subsistemas e as interações entre eles.

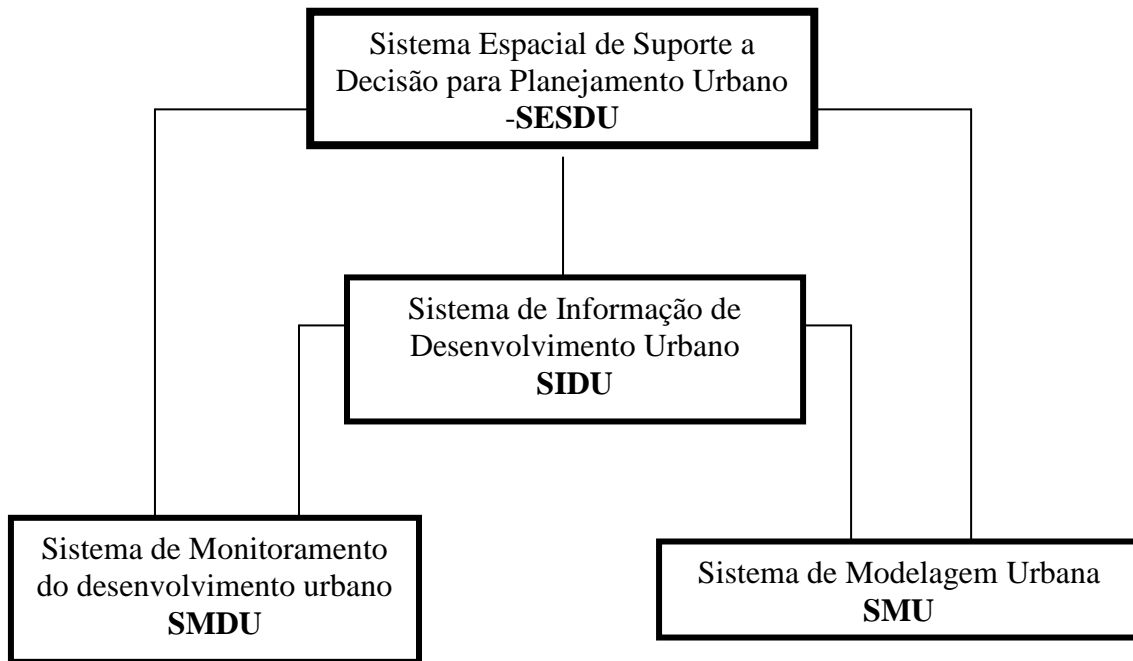


Figura 5 _ Componente de um SESDU

O SIDU é um sistema de apoio aos outros subsistemas nos estudos de caso e na análise de impactos dos serviços urbanos. Consistirá de um banco de dados inteligente contendo as características básicas de um sistema de informações tendo a habilidade e capacidade para gerenciar as informações com métodos cartográficos e outros de representação de dados e informação.

O SMU compreende uma variedade de modelos que são usados para estudar compreender, prever e planejar o desenvolvimento urbano.

O subsistema SMDU é a base de documentação e monitoramento dos níveis de desenvolvimento das atividades com o objetivo de avaliar a capacidade da comunidade de proporcionar novo desenvolvimento com a infraestrutura necessária. O sistema deve ter capacidade de proporcionar uma análise adequada das facilidades para todo tipo de uso do solo e projetos de desenvolvimento (isto é, zoneamento, construções etc.) e deve também ser capaz de fornecer em curto prazo uma estimativa da demanda por infraestrutura.

Um Sistema de Suporte a Decisão para Transporte e Uso do Solo deve envolver a integração de modelos de uso do solo dentro de sua estrutura de

análise espacial e planejamento. Sistemas de suporte a decisão de transporte e Uso do solo fizeram parte do desenvolvimento de sistemas de modelagem urbana de 1960 a 1970 dentro do conceito de suporte à decisão e, a utilização de sistemas de informação geográfica se deu entre 1986 e 1990.

Um sistema de suporte a decisão para Transporte e uso do solo deve também ter vários componentes integrando modelos de transporte, projeções de uso do solo e investimentos, políticas de controle e Sistemas de especialista de Informações geográficas.

Pelizaro et al (2004) apresentam um Sistema Espacial de Suporte a Decisão para planejamento, implantação e monitoramento de áreas verdes no espaço urbano. O objetivo do sistema é auxiliar as autoridades locais na implantação de áreas verdes do tipo certo visando maximizar o bem estar da população. Neste trabalho, os autores chamam atenção para a importância dos SIG como principal ferramenta de composição do SED. Isto porque, facilitam as análises em função do armazenamento das informações e suas relações com o espaço, a integração com modelos urbanos e simulação de cenários e, a visualização dos resultados. O sistema desenvolvido por Pelizaro et al tem assim, um SIG como o “coração” do sistema que trabalha com informações a partir de células de 100m² compreendendo dados sobre uso do solo, espaços verdes, infraestrutura e demografia. O modelo urbano integrado ao sistema consiste de um conjunto de técnicas para analisar a implantação e para monitorar o uso das áreas verdes no espaço urbano, baseadas em teorias do comportamento urbano.

4. INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA E SUSTENTABILIDADE NO TRANSPORTE E USO DO SOLO

Nos diferentes projetos aqui apresentados e também em alguns outros trabalhos de pesquisas, observa-se a utilização de indicadores como forma de avaliar, ou mesmo, monitorar o desenvolvimento sustentável. No caso de uma avaliação são utilizados alguns métodos conforme os citados no item 3 deste documento. Nestes métodos são atribuídos valores e pesos aos diversos indicadores dando como resultado um índice que nos indica através de uma análise comparativa, a situação das regiões, áreas ou cidades estudadas em relação a qualidade de vida e a sustentabilidade das mesmas, podendo-se inclusive, simular cenários relacionados com estratégias a serem implementadas, ou seja, auxiliando no processo decisório. No caso de monitoramento, pode-se definir metas a serem atingidas ao longo de um tempo para os indicadores visando o desenvolvimento sustentável, adequado a cada contexto regional ou urbano específico.

Assim, dentro do contexto de busca da qualidade de vida e sustentabilidade, são apresentados a seguir os indicadores utilizados em alguns trabalhos de pesquisa e projetos citados neste documento.

4.1 Indicadores de Qualidade de Vida

Mendes (2004) num estudo para avaliar a qualidade de vida de um conjunto de cidades portuguesas, propõe indicadores a partir de uma definição inicial das dimensões considerando: clima, comércio e serviços, criminalidade, desemprego, habitação, mobilidade, patrimônio, poder de compra e poluição. Para cada uma destas dimensões definiu os indicadores de QV (qualidade de vida), conforme se pode observar na tabela 1 a seguir.

Tabela 2 – Indicadores de qualidade de vida

DIMENSÕES	INDICADORES
CLIMA	Índice climático de Inverno Índice climático de verão Índice pluviométrico
COMÉRCIO E SERVIÇOS	Bancos: Dependencia bancária por 10000 hab.
	Desporto Pavilhões por 10000 hab. Instalações para grandes jogos por 10 000 hab. Piscinas cobertas por 10 000 hab. Piscinas descobertas por 10 000 hab. Pistas de atletismos por 10 000 hab.
	Ensino superior: Cursos universitários Vagas universitárias Cursos Politécnicos Vagas no politécnico
	Museus: Numero de Museus
	Saúde: Numero de hospitais no distrito por 100000 hab Lotação dos hospitais no distrito por 100000 hab. Numero de médicos por 10000 hab. Número de farmácias por 10000 hab.
	Segurança social: Atividades tempo livre, estabelecimentos por 10000 hab. Atividades tempo livre, capacidade por 10000 hab.
CRIMINALIDADE	Crimes contra pessoas por 1000 habitantes Crimes contra o patrimônio por 1000 hab. Crimes contra a vida em sociedade por 1000 hab.
DESEMPREGO	Taxa de desemprego registrado
HABITAÇÃO	Custo de aquisição por m2 de área útil Custo de arrendamento por m2 de área útil
MOBILIDADE	Automóveis por 1000habitantes Veículos por km de rede viária Consumo de combustível por km de rede viária

MOBILIDADE	Densidade de rede viária Tempo de viagem para Lisboa e Porto
PATRIMONIO	Monumentos Nacionais e Patrimônio Mundial Imóveis de Interesse Público
PODER DE COMPRA	Indicador <i>per capita</i> do poder de compra
POLUIÇÃO	Qualidade do ar: Emissões de CO por km ² de área urbana Emissões de NOx por km ² de área urbana Emissões de COV por km ² de área urbana Emissões de PTS por km ² de área urbana
	Qualidade da água: Parâmetros G1(11 parâmetros organolépticos e microbiológicos) Parâmetros G2(15 parâmetros de natureza físico-química) Parâmetros G1(25 parâmetros sobre subst. indesejáveis e tóxicas) Número de violações de parâmetros G1,G2,G3 (45 parâmetros)
	Ruído: Nível de intensidade sonora equivalente (Leq.)

Com base nestes indicadores e utilizando um método de análise multicritério, apresentado no item 3 deste trabalho, este obteve um índice de qualidade de vida para cada cidade o que possibilitou compará-las e estabelecer um *ranking* das mesmas.

4.2 Indicadores de sustentabilidade no Transportes e Uso do solo

Banister et al (2000) apresentam uma tabela de indicadores, obtida a partir de um inventário das questões chaves relacionadas com transporte e desenvolvimento sustentável com base numa revisão de vários trabalhos. Esta tabela, reproduzida na tabela 3 seguir, apresenta potenciais indicadores visando o desenvolvimento de metas para cada questão da sustentabilidade.

Tabela 3. Dimensão, questão e Indicadores potenciais para mobilidade sustentável.

Dimensão	Questão	Indicadores Potenciais
SOCIAL	Acessibilidade	Distância de caminhada aos serviços locais e atividades
	Saúde	Dados sobre doenças relacionadas com o transporte
		Numero de dias com baixa qualidade do ar
	Segurança	Taxa de acidentes em rodovias
	Poluição sonora	Proporção da população afetada pelo barulho
Intrusão Visual	Proporção da população afetada por obstrução de visão	

ECONOMIA	Congestionamento	Veículos-quilômetros/ comprimento da rodovia
	Corrosão de edificações	Emissões de NO _x
	Danos em Rodovias e pontes	HGV veículos-quilômetros
MEIO AMBIENTE	Esgotamento de recursos	Consumo de Energia
	Mudanças Climáticas	Emissões de CO ₂
		Perda da terra para agricultura
		Emissões de NO _x
	Poluição do ar	Emissões de NO _x , CO, VOCs, e outros poluentes
	Geração de lixo	Relação entre veículos jogados fora e veículos reciclados
	Poluição da água	Emissões de NO _x
Intrusão de Infra-estrutura	Extensão da infra-estrutura de Transportes	

Segundo Banister, os impactos sociais econômicos e ambientais estão sempre correlacionados, desta forma, um determinado impacto algumas vezes, pode estar inserido em mais de uma dimensão ou categoria. Assim, por exemplo, o indicador “acidentes” está listado como um impacto social, mas, poderia também ser considerado como um impacto econômico em termos de seguros de saúde, benefícios quanto a segurança e outros.

O relatório do projeto PROPOLIS (2004) apresenta um estudo que procura integrar uso do solo e políticas de transportes, ferramentas e metodologias de avaliação com o objetivo de encontrar estratégias urbanas de longo prazo e verificar seus efeitos em cidades européias.

Um conjunto de indicadores foi desenvolvido para medir as dimensões de meio ambiente, social e econômica da sustentabilidade urbana. Um Sistema de Suporte a Decisão foi utilizado para avaliar o conjunto de indicadores com o objetivo de chegar a um índice agregado, em relação as três dimensões considerando diferentes políticas de atuação. Incluindo efeitos a longo prazo, para 20 anos. O sistema foi utilizado para testar sistematicamente e analisar políticas de atuação em sete cidades da Europa utilizando diferentes tipos de modelos de uso do solo e de transportes.

Os resultados destes estudos mostraram que, se comparadas com a situação atual, a sustentabilidade ambiental em todas as cidades decairá com o crescimento do tráfego se nenhuma atitude for tomada. Ficou demonstrado que uma completa política urbana deve ser avaliada passo a passo. Um bom programa de políticas de atuação urbana consiste na coordenação de elementos que trabalham juntos para produzir efeitos acumulativos de longo prazo atrelados ao balanceamento de metas ambientais, econômicas e sociais. Segundo este estudo, deve-se incluir os seguintes elementos:

- ⇒ Combinar políticas de tarifação de transporte público e uso de automóvel refletindo os custos externos causados e com diferenciação em relação a hora de pico e fora do pico tanto quanto em áreas congestionadas e não congestionadas.

- ⇒ Direcionar os programas de investimento em transportes para as mudanças que possam ocorrer na demanda devido as políticas de ação anteriormente descritas e especialmente com relação ao aumento da demanda por melhores transportes públicos, ou seja, mais rápidos e com melhores serviços.
- ⇒ Um plano de uso do solo dando suporte a nova necessidade de pessoas por moradias próximas as áreas centrais, em cidades satélites ou ao longo de corredores bem servidos de transporte público e a crescente necessidade e oportunidade de utilizar o transporte público.

Foi observado que em cidades típicas da Europa este tipo de estratégia tem considerável melhoria sobre as três dimensões da sustentabilidade urbana se comparada com a manutenção da situação atual, e nos melhores casos há um aumento dos níveis atuais de sustentabilidade.

No relatório PROPOLIS (PLUME, 2003) propõe-se uma lista de indicadores distribuídos dentro das três dimensões da sustentabilidade _social, econômica e ambiental, apresentados na tabela 4 seguir.

TABELA 4 – Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

Componente	Tema	Indicador
Ambiental	Poluição do ar	Gases de estufa dos transportes e uso do solo gases acidificados dos transportes e uso do solo compostos orgânicos dos transportes
	Consumo de recursos naturais	Consumo de derivados do petróleo, o consumo de materiais de construção. Utilização/ocupação do território pelos transportes e actividades
	Qualidade ambiental	Indicador de potencial micro climático para a qualidade da biodiversidade de espaços abertos
Social	Saúde	Exposição a poluição de partículas geradas pelos transportes no ambiente vivo; exposição ao dióxido de nitrogénio dos transportes no ambiente vivo; exposição ao ruído do tráfego mortes e danos resultantes do tráfego
	Equidade	Justiça na distribuição dos benefícios económicos; justiça na exposição a partículas; justiça na exposição ao dióxido de nitrogénio; justiça na exposição à emissão do ruído
	Oportunidades	Tempo total passado no tráfego; nível de serviço dos TP e modos lentos; vitalidade do centro da cidade; vitalidade da região circundante; acessibilidade ao centro da cidade, acessibilidade aos espaços livres; feitos sobre o emprego
Indicadores económicos	Rede total de benefícios líquidos do transporte	Benefícios do utilizador de transporte; benefícios do operador de transporte; custos dos recursos; custos externos; custos de investimento
	Rede total de benefícios líquidos do uso do solo	Benefícios do utilizador; benefícios do operador; custos dos recursos; custos externos; custos de investimento

	Economia regional e competitividade	(não especificado)
--	-------------------------------------	---------------------

Também, no relatório PROPOLIS (PLUME, 2003) apresenta-se um exemplo prático, onde se utilizam estes indicadores numa aplicação do procedimento apresentado no item 3 deste trabalho, e nesta aplicação, cada dimensão da sustentabilidade apresenta, após o processo de atribuição de pesos e avaliação, um índice total, conforme se pode verificar na tabela 5.

Nesta tabela, o índice econômico embora expresso como valores por habitante, representa a parte da análise custo/benefício da avaliação.

Associado aos indicadores, há um conjunto de variáveis disponíveis para os tomadores de decisão que não aparecem. Estas variáveis não estão diretamente relacionadas com a sustentabilidade (ex. divisão modal ou velocidade média de viagem e distância), mas ilustram o comportamento das políticas de forma que seja fácil entender os indicadores.

Tabela 5

DIMENSÃO	UNIDADE	PESO (%)
Tema <i>INDICADOR</i>		
MEIO AMBIENTE		
Mudanças climáticas		[21,6]
<i>Gases provocados pelo efeito estufa devido ao transporte</i>	<i>CO2 eq./1000hab/ano</i>	21,6
Poluição atmosférica		[22,5]
<i>Gases acidificados devidos ao transporte</i>	<i>Acid. eq/1000hab/ano</i>	13,2
<i>Componentes voláteis orgânicos devido ao transporte</i>	<i>Tons/hab./ano</i>	9,3
Consumo de Recurso Naturais		[34,3]
<i>Óleo mineral para transporte</i>	<i>Tons/hab./ano</i>	14,7
<i>Área utilizada</i>	<i>Porcentagem da área</i>	11,1
<i>Necessidade de novas construções</i>	<i>Crescimento anual (%)</i>	8,5
Qualidade Ambiental		[21,6]
<i>Fragmentação dos espaços abertos</i>	<i>Índice</i>	13,4
<i>Qualidade dos espaços abertos</i>	<i>Índice</i>	8,2
SOCIAL		
Saúde		[37,6]

<i>Exposição a algum tipo de impacto causado pelo transporte</i>	<i>Percentagem da população</i>	7,5
<i>Exposição ao dióxido de nitrogênio emitido pelo transporte</i>	<i>Percentagem da população</i>	5,9
<i>Exposição a poluição sonora do tráfego</i>	<i>Percentagem da população</i>	6,7
<i>Mortes no tráfego</i>	<i>Mortes/1000000 hab/ano</i>	10,6
<i>Feridos no tráfego</i>	<i>Mortes/1000000 hab/ano</i>	7,0
Igualdade		[23,0]
<i>Justiça na distribuição dos benefícios econômicos</i>	<i>Índice de “justiça”</i>	5,1
<i>Justiça na exposição a materiais particulados</i>	<i>Índice de “justiça”</i>	4,4
<i>Justiça na exposição a materiais particulados</i>	<i>Índice de “justiça”</i>	4,3
<i>Justiça na exposição ao barulho</i>	<i>Índice de “justiça”</i>	4,2
<i>Segregação</i>	<i>GINI-índice</i>	5,0
Oportunidades		[16,4]
<i>Padrão residencial</i>	<i>% de habitações superlotadas</i>	4,8
<i>Vitalidade do centro da cidade</i>	<i>Índice</i>	3,1
<i>Vitalidade da região de entorno da cidade</i>	<i>Índice</i>	3,1
<i>Produtividade do uso do solo</i>	<i>Percentagem/ano</i>	5,4
Acessibilidade e tráfego		[23,0]
<i>Tempo total no tráfego</i>	<i>Horas/hab/ano</i>	4,6
<i>Nível de serviço do Transporte Público e modos lentos</i>	<i>Minutos/viagem</i>	5,8
<i>Acessibilidade ao centro da cidade</i>	<i>Minutos/viagem</i>	4,0
<i>Acessibilidade aos serviços</i>	<i>Minutos/viagem</i>	4,6
<i>Acessibilidade aos espaços abertos</i>	<i>Minutos/viagem</i>	4,1
ECONOMIA		
<i>Custos de Investimentos</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Benefícios do Usuário do transporte</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Benefícios para os operadores de Transporte</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Benefícios para o governo a partir dos</i>	<i>Euro/percapita</i>	

<i>transportes</i>		
<i>Custos de acidente</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Custos de Emissão</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Custo do efeito estufa</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Custo da poluição sonora</i>	<i>Euro/percapita</i>	
<i>Benefício total da rede devido ao transporte</i>	<i>Euro/per capita</i>	

No projeto PROSPECT (2004), os indicadores propostos estão diretamente relacionados com os sub-objetivos listados no item 2 (ver pg. 8) deste trabalho, assim, cada sub-objetivo tem o seu próprio indicador, ou conjunto de indicadores sensíveis às mudanças de estratégias a serem testadas. Além disso, a proposta dos mesmos se baseia na ligação entre o impacto/nível de alcance de uma meta ou objetivo. Para tanto, os indicadores são propostos em três níveis. No nível 1 os indicadores são medidas relacionadas com todos os aspectos dos sub-objetivos. Por exemplo, a análise custo/ benefício produz uma medida de eficiência econômica, onde os impactos não são apenas quantificados mas também avaliados. No nível 1 existe tanto a preocupação com os dados, como em relação ao métodos que podem ser utilizados para medir ou avaliar os impactos. No nível 2 os indicadores são medidas quantificáveis em relação ao alcance de um sub-objetivo. E, neste caso, a principal preocupação é com a viabilidade dos dados. No nível 3 temos indicadores de análise qualitativa do nível de alcance das metas.

A tabela 6 a seguir apresenta uma versão simplificada da lista de indicadores propostas pelo Projeto PROSPECT.

TABELA 6 – Lista Simplificada de Indicadores

Sub-objetivo	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Eficiência Econômica	Análise Custo benefício	Custo do tempo e do dinheiro	
Vias e vizinhanças agradáveis		Acidentes por localização, modo de transporte e vítimas.	Sensação de liberdade de movimento e nível de perigo
Proteção ao meio ambiente	Custos Ambientais	Uso de energia e do solo, emissões.	
Igualdade e Inclusão Social	Acessibilidade para aqueles sem carro ou com mobilidade reduzida	Perdedores e vencedores por categoria	
Redução de acidentes de tráfego	Custo de acidentes	Acidentes por localização, modo de transporte e vítimas.	

Suporte ao Crescimento Econômico	Mudanças no PIB local		
----------------------------------	-----------------------	--	--

No projeto TRANSPLUS (2002) realizou-se uma vasta revisão bibliográfica e alguns estudos de caso para extrair indicadores integrados de transporte e uso do solo. O objetivo foi propor indicadores que pudessem ser utilizados a nível nacional, regional, urbano e suburbano visando o monitoramento e avaliação de políticas. Na pesquisa realizada observou-se que na maioria das cidades os indicadores eram utilizados principalmente para monitoramento dos efeitos dos transportes e do uso do solo.

Assim, neste projeto, apresenta-se uma estrutura de referência de indicadores para avaliação e monitoramento da integração entre transporte e uso do solo que está dividida em três grupos de indicadores: de *outputs* (1), de resultados (2) e de impactos (3). Os indicadores de *outputs* são aqueles relacionados com as atividades e são medidos por unidades físicas ou monetárias. Os indicadores de resultados estão relacionados com um efeito imediato de uma política, como por exemplo, mudanças de comportamento, tais indicadores podem ser de natureza física, como a redução do tempo de viagem, ou financeira, como o decréscimo no custo de transporte. E por último, os indicadores de impacto estão relacionados com as conseqüências diretas sobre a população envolvida, em função de políticas ou planos implementados. Estes indicadores estão ainda relacionados com três estratégias de integração de uso do solo e transporte:

- ⇒ desenvolvimento orientado ao transporte,
- ⇒ incentivo a deslocamentos de curta distância
- ⇒ restrições ao uso do automóvel.

A tabela 7 a seguir apresenta os indicadores segundo estas estratégias e ainda divididos em três categorias de mudanças: na estrutura urbana, nas atividades de transporte e nos valores monetários, isto em relação aos indicadores de *outputs*. Já, os indicadores de resultados são definidos em função de objetivos específicos relacionados também com três tipos de mudança: na eficiência do uso do solo, na intensidade das viagens e nas pressões econômicas. Os indicadores de impactos expressam o objetivo global do desenvolvimento urbano sustentável, assim, as categorias consideradas estão relacionadas com as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental.

Tabela 7 – TRANSPLUS – Estrutura de Referência para monitorar e avaliar a integração de Transporte e Uso do Solo

	INDICADORES DE <i>OUTPUTS</i>					
Estratégias de Integração	<i>Mudanças na Estrutura Urbana (Successful integration)</i>		<i>Mudanças nas Atividades de Transportes (Encouraging transport alternatives)</i>		<i>Mudanças monetárias (custos e receitas)</i>	
Desenvolvimento Orientado ao transporte Público	1. Extensão do TPU por tipo (e.g. trem/metro, bonde, bus)	↑	TPU veículo.km (or lugares.km)	↑	1. Custos do operador de TPU	↓
	2. Uso do solo dentro de uma distância de “X” metros a partir das paradas dos TPU	↑	TPU ridership	↑	2. Subsídios do TPU	↓
			Divisão modal no TPU	↑		
			Média de distancia e tempo de viagem no TPU	↓		
Desenvolvimento de facilidades para deslocamento por pequenas distancia	1. Área reservada a pedestres e ciclistas	↑	1. Percentual de utilização de transporte não motorizado	↑		
	2. Comércio, escritórios e serviços por área construída disponível.	↑				
	3. Comércio, escritórios e serviços por área construída ocupada.					
Restrição de Espaço para automóveis	1. Zonas de acesso limitado/acesso com pagamento	↑	1. Tráfego rodoviário	↓	1. Custos dos usuários de automóvel	↑
	2. Locais limitados/ pagamento de estacionamento	↑	2. Parcela de utilização do automóvel	↓		
		↓	3. Ocupação do veículo	↑		
	3. Espaço para estacionamento de veículos privados.		4. Média de distancia e tempo de viagem no automóvel	↓		
			5. Índice de congestionamento	↓		

	INDICADORES DE RESULTADOS					
	<i>Mudanças eficientes de uso do solo</i>		<i>Mudança na intensidade de viagens</i>		<i>Mudanças de pressões econômicas</i>	
Desenvolvimento Orientado ao transporte Público	1. Uso de terra improdutivo para construções residenciais ou não	↑	1. Propriedade de veículos	↓	Pressão sobre os negócios dos operadores de TPU	↓
Desenvolvimento de facilidades para deslocamento por pequenas distâncias	2. Densidade de uso misto dentro das cidades	↑	2. Acessibilidade	↑	Parcela de renda gasta em viagens (por modo e classe de renda)	↓
Restrição de Espaço para automóveis	3. Desenvolvimento polinuclear em áreas metropolitanas e regiões	↑	3. Volume total de viagens (veículo.km) per capita	↓	Disparidades nos custos de propriedade e manutenção	↓
			4. Volume total de viagens (veículo.km) por passageiro	↓	Disparidades nos valores de uso do solo (terra, conjuntos residenciais, escritórios, comércio)	↓
			5. Tempo total de viagem per capita	↓		
			6. Tempo total de viagem por passageiro	↓		
INDICADORES DE IMPACTO NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL						
	<i>Dimensão econômica</i>		<i>Dimensão Social</i>		<i>Dimensão Ambiental</i>	
Desenvolvimento Orientado ao transporte Público	Novas lojas e atividades de serviço e negócios	↑	1. Mudança no número de residentes	↑	Mudança no consumo de energia	↓
Desenvolvimento de facilidades para deslocamento por pequenas distâncias	Mudança no volume de negócios	↑	2. Mudança no número de residências	↑	Mudança na qualidade do ar	↑
Restrição de Espaço para automóveis	Balço entre impostos e custos dos serviços locais	↑	3. Mudança no número de acidentes e pessoas mortas/feridas	↓	Mudança na exposição ao som	↓
	Efeito multiplicador local e global	↑	4. Mudança da população exposta a efeitos prejudiciais a saúde	↓	Mudança na qualidade e tipo de construção	↑
			5. Mudança no mercado de trabalho	↑	Mudança na viabilidade/acessibilidade a áreas verdes	↑
			6. Exclusão social	↓		

Direção desejada de mudança: ↑ = aumentar , ↓ = reduzir

Costa et al (2004) desenvolveram um estudo com o objetivo de identificar indicadores de mobilidade para um grupo de cidades selecionadas no Brasil e em Portugal, visando promover a sustentabilidade das mesmas. Para tanto foi realizado um inventário de sistemas de indicadores já existentes para estas cidades. Posteriormente, os indicadores selecionados foram submetidos a uma avaliação por parte de pesquisadores do Brasil e de Portugal com o objetivo de avaliar a importância dos mesmos na monitoração da mobilidade urbana. Desta forma, foi possível identificar um conjunto comum de indicadores de mobilidade para as cidades brasileiras e portuguesas. Os 115 indicadores selecionados para esta análise são apresentados na tabela 8 divididos em categorias e temas.

Tabela 8- Categorias , Temas e Indicadores relacionados a Mobilidade Urbana

Categories	Tema	Indicador
Transporte e Meio Ambiente	Energia / Combustível	Consumo per capita de combustível fóssil por transporte em veículo motorizado. (Com_Combust_Fos)
		Eficiência energética do transporte de passageiro e carga (Efic_Transp_Carga) (Efic_Transp_Passag)
		Energia final consumida pelo setor de transporte (Energ_Final_Transp)
		Intensidade do Uso de energia: Transporte (Intens_Energ_Transp)
		Porção de energia originada de fontes de combustível fóssil e não-fóssil. (Energ_Fos_NaoFos)
	Impacto Ambiental	Descargas acidentais de óleo no mar por navios. (Descarg_Oleo)
		Fragmentação de terras e florestas (Fragmentação)
		Impactos do uso de automóveis (Impact_UsoAuto)
		Proximidade de infra-estrutura de transportes a áreas protegidas (Prox_Infra_Proteg)
		Resíduos gerados por veículos rodoviários (Resid_VeicRodo)
	Qualidade do Ar	Dias por ano em que os padrões de qualidade do ar não são atendidos (Dias_QualiAr)
		Emissão de gases acidificantes pelos transportes (EmissAcid_Transp)
		Emissão de gases que geram o efeito estufa pelos transportes (EmissEstuf_Transp)
		Emissões causadas pelos transportes e intensidade das emissões (EmissIntens_Transp)
		População exposta à poluição do ar causada pelos transportes (Pop_Expo_Polu)
		Qualidade do ar (Quali_Ar)
	Ruído	Medidas de minimização de ruído (Med_Mini_Ruid)
		Poluição Sonora (Polu_Son)
		População exposta ao ruído acima de 65 dB (A) causado pelos transportes (Pop_Expo_Ruid)

		Ruído de tráfego: exposição e incômodo (RuiTraf_Exp)
Gestão da Mobilidade Urbana	Despesas / Investimentos / Estratégias Econômicas	Capital investido por modo (Cap_Inv_Mod)
		Despesas públicas com transporte privado (DespPublic_TranspPriv)
		Despesas públicas com transporte público (DespPublic_TranspPublic)
		Investimentos em infra-estrutura de transportes (Invest_Infra_Transp)
		Subsídios diretos aos transportes (Subsid_Transp)
		Taxação relativa de veículos e utilização de veículos (Tax_Veic_Utili)
		Gerenciamento / Monitoração
	Gerenciamento efetivo do tráfego / fiscalização (Gerenc_Traf_Fiscal)	
	Sistema nacional para monitoração dos transportes e meios ambiente (SistMonitor_Transp_Amb)	
	Medidas para incremento da mobilidade urbana	Desenvolvimento de planos municipais para a redução das viagens (Plan_Red_Viag)
		Estabelecimento de regulamentação para densidades mínimas na cidade (Regula_Densid_Min)
		Implementação de estratégias ambientais para o setor de transportes (Estrat_Amb_Transp)
		Medidas: operação eficiente da frota de veículos (Opera_EficVeic)
		Melhoria dos transportes (Melhora_Transp)
		Priorizar viagens eficientes (a pé ou por bicicleta) (Prior_Viag_Ped_Ciclist)
	Novas Tecnologias	Desenvolvimento de combustíveis limpos e número de veículos que utilizam combustíveis alternativos (Combust_Limp_Alter)
		Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento de "combustíveis limpos" (GastCombustLimp)
		Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento de "veículos ecológicos" (GastVeicEco)
		Novas formas de transporte (NovaFormaTransp)
		Possível custo inicial de veículos ecológicos (CustIniciaVeicEco)
		Uso de tecnologia de cartões inteligentes (TecnoCartIntelig)
		Vida útil dos veículos ecológicos (VidaUtilVeicEco)
	Infra-Estrutura e Tecnologias	Frota
Idade média dos veículos (IdadMedVeic)Sust_meas		
Porcentagem da frota municipal convertida para reduzir a emissão de poluentes (FrotConvertRedPolu)		
Propriedade de automóveis privados (PropAutoPriv)		
Relação entre veículos com consumo eficiente de combustível/veículos com consumo ineficiente de combustível. (VeicEficVeicNaoefic)		
Veículos em circulação (VeicCircula)		

	Infra-estrutura / Sistema Viário	Capacidade das redes de infra-estrutura de transportes (CapacidadInfra)
		Comprimento total das vias para ciclistas (Comp_ViaCicilst)
		Desenvolvimento de vias para otimizar o fluxo de tráfego (Via_Otim_Traf)
		Estrutura da rede viária (Red_Via)
		Extensão total das vias designadas para pedestres (ExtVia_Pedest)
		Número de estacionamentos para carros na cidade (Estaciona_Car)
		Possibilidade de acesso de transporte coletivo (pavimentação) (Acess_Transp_Pavi)
		Provisão de infra-estrutura para <i>traffic calming</i> e vias para bicicletas e pedestres (TrafficCalming)
	Tecnologias e Serviços de Transporte	Aquisição de bicicletas em cidades menos desenvolvidas (AquisBic)
		Mudanças nos modos de transporte (Muda_Mod_Transp)
		Tendências do tráfego rodoviário e densidades (Traf_Rodo)
		Transporte de carga por modo (TranspCarg)
		Transporte de passageiros por modo de transporte (TranspPassag)
	Tráfego	Congestionamento de tráfego (CongestionaTraf)
		Densidade de tráfego (Densid_Traf)
		Geração de volume de tráfego e tipo (Vol_Traf)
		Taxa de ocupação dos veículos de passageiros (Ocupa_Veic_Passag)
		Tempo total gasto no tráfego (TempTraf)
Velocidade de tráfego (VelocTraf)		
Planejamento Espacial e Demanda por Transporte	Acesso aos Serviços e Atividades Urbanas	Acessibilidade ao bairro (Acess_Bairro)
		Acessibilidade ao centro (Acess_Centro)
		Acesso aos serviços básicos (Acess_ServBasic)
		Acesso aos serviços de transportes (Acess_ServTransp)
		Porcentagem de empregos situados a até 3 quilômetros de distância das residências (Empreg_DistResid)
		Porcentagem de pessoas que vivem a até 3 quilômetros de distância das facilidades de lazer (Pessoa_DistLazer)
		Dvimento Urbano / Uso do Solo
	Áreas verdes versus áreas destinadas ao automóvel privado esenvol (Verd_Versus_AutoPirv)	
	Desconcentração das atividades (Deconc_Activ)	
	Forma urbana (Form_Urb)	

		Incentivo ao uso misto/alta densidade (Incent_UsomistAltaDensid)
		Mudanças no uso do solo devido à infra-estrutura de transportes (Muda_Solo_InfraTransp)
		Planejamento do uso do solo urbano (Planeja_SoloUrb)
		Políticas de uso do solo para pedestres, ciclistas e transporte público (Politic_Pedest_Ciclist_Public)
	População Urbana	Crescimento do número de unidades unifamiliares comparado ao crescimento da população (UnidFam_CrescPop)
		Densidade populacional (Densid_Pop)
		Estrutura etária da população (Estrut_Etar_Pop)
		Rendimento familiar per capita (Rend_Fam_Percapita)
		Taxa de crescimento da população (Tax_Cresc_Pop)
	Viagens / Deslocamentos	Deslocamento de crianças para a escola (DeslocaCriançaEsc)
		Distância aos serviços básicos (DistServBasic)
		Distância média entre os moradores e os demais membros de sua família (DistFam)
		Distância percorrida a pé ou por bicicleta per capita por dia (DistPedBiciDia)
		Mobilidade local e passageiros transportados (MobLocal)
		Número de pessoas vivendo e trabalhando no local (PopVivTrabLocal)
		Porcentagem de pessoas que utilizam o automóvel para viagens com distância inferior a 3 quilômetros (UtlAutoDistInferior)
		Tempo de viagem (TempViag)
Aspectos Socioeconômicos do Transporte	Custos / Preços / Tarifas	Custo por passageiro transportado, corrigido pela inflação (CustPassagTransp)
		Evolução dos preços dos diferentes tipos de combustíveis e eletricidade (EvoluPreçoCombust)
		Mudanças reais nos preços de transporte por modo (MudaPreçoTranspModo)
		Preço dos combustíveis e taxas (PreçoCombustTax)
		Tendências dos preços do transporte público (PreçoTranspPublic)
	Impactos Socioeconômicos dos Transportes	Benefícios dos usuários de transportes (BeneficUsaTransp)
		Custos do congestionamento (CustCongestion)
		Custos sociais dos transportes (CustSocial)
		Rendimentos dos operadores de transportes (RendOperaTransp)
	Segurança	Acidentes fatais de transportes (AcidentTranspFatal)
		Feridos por acidentes de tráfego (FeridoAcidentTraf)
		Número de crimes violentos ocorridos no trânsito (Crime_Transit)
		Pedestres e ciclistas feridos em acidentes de trânsito (Acident_PedestCiclist)
		Segurança e proteção para as vias residenciais (SegurViaResidencia)

Transporte Público	Demanda por transporte de passageiros (DemandTranspPassag)
	Disponibilidade de transporte público (Disp_TranspPublic)
	Fator de diversidade para serviços de transporte (Diversidad_Transp)
	Necessidade de sistemas de transporte (Necess_Transp)
	Nível de serviço do transporte público e modalidades lentas (NivServ_TranspPublic)
	Porcentagem de pessoas que consideram o transporte público inseguro (TranspPublicInseguro)
	Porcentagem de pessoas que escolhem o transporte público em detrimento ao carro (TranspPublicVersusCar)

Melo (2004) realizou uma revisão de trabalhos que relacionavam o transporte com o uso do solo, visando definir indicadores de ocupação urbana que tivessem uma influência na redução do uso do automóvel. Como resultado desta pesquisa, este autor propõe doze indicadores que considera mais facilmente de serem utilizados em cidades brasileiras. A tabela 9 a seguir apresenta estes indicadores, a forma de medição e os efeitos dos mesmos. Pode-se observar nesta lista de indicadores a preocupação com a estrutura urbana como indutora do processo de redução do uso do automóvel, pois dentre os doze indicadores propostos dez estão relacionados com o aspecto físico da ocupação urbana.

4.3 Considerações sobre os indicadores

Conforme se pode observar existem diferentes trabalhos sendo desenvolvidos com o objetivo de promover a sustentabilidade das cidades envolvendo transporte e uso do solo. Na visão destes trabalhos, os indicadores são elementos importantes desta análise, pois permitem, através de algumas técnicas, uma avaliação da situação atual e futura dentro dos objetivos da sustentabilidade, assim como, o acompanhamento das estratégias implantadas.

Dentro deste contexto, propõe-se no item a seguir um procedimento, que baseado nas técnicas de avaliação apresentadas e nos indicadores propostos nos diferentes estudos, possibilite definir um índice de mobilidade sustentável.

Tabela 9 - Proposta de Indicadores de ocupação urbana relacionados redução de viagens por automóveis

Indicador	Forma de medir	Efeitos
Densidade populacional	População total dividida pelo total de áreas residenciais	o aumento da densidade populacional pretendida numa região gera o aumento das viagens de automóvel, pois aumenta o número de pessoas que necessitam se locomover. Mas quando esse aumento é planejado junto com a oferta de transporte coletivo, essa densidade se torna uma ferramenta indispensável para o aproveitamento do solo urbano.
Densidade residencial	Número de residências por área residencial líquida.	o aumento da densidade residencial implica normalmente no aumento da densidade populacional, podendo, se não planejada, gerar impactos negativos no tráfego. Mas se planejado de modo a ser complementado com o uso misto do solo e servido por um bom sistema de transporte público, é uma medida que responde às questões ambientais de aproveitamento do solo urbano já explorado, protegendo áreas naturais do espalhamento urbano.
Densidade de lojas de varejo (comercial)	Número de lojas de varejo por área desenvolvida líquida	a densidade comercial tem o mesmo impacto e pode ser tratada da mesma forma do que a densidade residencial, ou seja, tende a gerar viagens de automóvel se não for planejada junto com ações complementares de diversidade e desenho orientado ao transporte coletivo ou não motorizado
Número de estabelecimentos comerciais dentro de uma área	Quantidade de estabelecimentos comerciais dentro de um raio de 400m.	está principalmente relacionado ao uso misto do solo e a acessibilidade de caminhada para se alcançar esses destinos. Quando um número de estabelecimentos comerciais (principalmente os básicos como mercados, lojas, colégios) se encontram em áreas mais residenciais, existe uma forte tendência à diminuição do uso do carro. Esta medida, como qualquer outra ligada à variedade do uso do solo, esta diretamente relacionada a densidade, pois somente em locais de alta densidade existe o interesse em mesclar os usos, e a possibilidade de se encontrar vários serviços num raio de alcance de caminhada.
Índice de dissimilaridade	Proporção de usos diferentes do solo dentro de uma célula de 1 hectare na área estudada.	o aumento da variedade de usos do solo ao redor de uma região, também é visto como uma medida para diminuição de viagens. A complementaridade dos usos dentro de uma distância de caminhada, ou acessível pela bicicleta, assim como a infra-estrutura de vias (calçadas e ciclovias ou ciclo-faixas) dando acesso a essas regiões são fundamentais para o planejamento de áreas menos dependentes do carro. Este índice também se relaciona com a densidade, como causa-efeito, pois para que seja alto deve estar num local de alta densidade, e para que o local de alta

		densidade seja sustentável ele tem que oferecer um alto índice de dissimilaridade
Proporção de usos comerciais do solo	Número de : Lojas de conveniência; Serviços Supermercados Loja de comida; Lazer;	essa medida é a medida direta do uso misto do solo. A verificação de um equilíbrio desses usos (não numericamente, mas relativamente) leva a conclusão de que a área esta servida pelas facilidades necessárias para o seu desenvolvimento. O mesmo que foi dito sobre a densidade nos outros dois itens, número de estabelecimentos e índice de dissimilaridade, pode ser utilizado para o indicador proporção do solo
Acessibilidade do transporte público	Nº de carros do transporte coletivo, nº de assentos disponíveis, porcentagem das residências dentro de uma distância de caminhada do ponto de embarque	uma maior acessibilidade ao transporte público é essencial para o funcionamento de qualquer tipo de planejamento na cidade que tente diminuir o uso do carro, pois mesmo dispondo dos meios não motorizados, as pessoas ainda têm a necessidade de se locomover a longas distâncias, ou numa velocidade maior.
Índice acessibilidade ao pedestre	Medidas de ruas atravessáveis, pouco inclinadas, taxa de calçadas, acesso aos edifícios, ruas com tráfego controlado.	uma maior acessibilidade para o pedestre gera menos necessidade de viagens de automóveis. Quando provemos a área de meios que facilitem a caminhada, junto com o uso misto do solo, os moradores têm a opção de usar as calçadas para se locomover. Aqui também a densidade é importante para o desenvolvimento , pois só se vai a pé a lugares dentro de uma área bem restrita.
Amenidades para pedestres	Presença de calçadas dos dois lados da rua; Calçadas pavimentadas; Presença de iluminação pública nas quadras; Presença de arborização nas calçadas; Presença de sinalização específica para o pedestre; Largura das ruas;	como o índice de acessibilidade ao pedestre, seu aumento, junto com a mistura dos usos, estimula o uso do meio a pé para as viagens dentro de uma certa distância. De novo nota-se a necessidade deste indicador ser utilizado em conjunto dos indicadores de densidade.
Faixas de ciclistas	Comprimento das faixas para ciclistas, e facilidades como sinalização específicas.	a preocupação em dotar a cidade com essas facilidades, assim como estacionamentos e sinalizações próprias para ciclistas, é válida pois dá uma alternativa de meio de transporte aos moradores, assim como um meio de lazer. O fator da densidade e do uso misto do solo aparecem neste indicador no que diz respeito de que esse meio de transporte será utilizado desde que os destinos estejam a uma distância possível de se alcançar

Tamanho das quadras	Comprimento médio das faces das quadras.	Quadras menores tendem a diminuir o uso do automóvel, pois criam inconvenientes de cruzamentos mais freqüentes, e incitam a caminhada, mas quadras mais divididas (lotes menores) tendem a aumentar a densidade, daí, sem qualquer outra atitude de planejamento complementar, aumentam a demanda de viagens.
Velocidade média dos veículos	Média de velocidade da rua principal ao redor da vizinhança	velocidades médias menores em cidades mais compactas não restringem a mobilidade da população, e em cidades espalhadas tendem a gerar uma maior procura pelos transportes públicos de vias não compartilhadas, que podem atingir velocidades maiores. Além disso, uma via de velocidade moderada gera mais confiança ao pedestre e ao ciclista no que diz respeito a segurança para o tráfego.

5 - UM PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL DE UMA REGIÃO

Conforme observado nos estudos apresentados neste trabalho o desenvolvimento sustentável é usualmente visto dentro de três dimensões: Ambiental, Social e Econômica. Relacionados a cada uma destas dimensões existem fatores básicos visando a sustentabilidade:

- ⇒ em relação ao meio ambiente: poluição do ar, poluição da água, consumo de recursos naturais e poluição sonora.
- ⇒ em relação ao contexto social: saúde, equidade e oferta de oportunidades;
- ⇒ em relação ao contexto econômico: economia regional e urbana, custo de transportes, competitividade e subsídios.

Dentro deste conceito, podemos considerar a mobilidade sustentável como sendo *“uma forma de mobilidade que promova uma igualdade de possibilidades de deslocamentos, com facilidades de acesso as diversas atividades de uma região, promovendo uma redução do consumo de energia associada aos meios de transporte, e buscando assim, uma redução da poluição ambiental e uma melhoria na eficiência dos recursos aplicados no transporte”*. Isto significa, de uma forma geral, conforme observado nos diversos trabalhos aqui apresentados, promover uma redução na utilização do veículo privado associado a medidas que facilitem o acesso da população às atividades através de caminhadas, uso de bicicletas e transporte público.

ERL & FEBER (TRANSLAND, 2000) consideram que a mobilidade sustentável, sob o ponto de vista dos transportes, pode ser alcançada através das seguintes metas ou ações:

- ⇒ promover a acessibilidade e o uso do espaço;
- ⇒ aumentar a parcela de transporte ambientalmente correto (transporte público, caminhada e uso da bicicleta)
- ⇒ reduzir o congestionamento
- ⇒ reduzir a poluição sonora, atmosférica e visual

e paralelamente,

- ⇒ desenvolver e manter o bem estar urbano e o equilíbrio (e prosperidade) da economia urbana;
- ⇒ assegurar a igualdade social e as oportunidades de transporte para toda a comunidade

Pelo exposto observa-se que existe uma forte relação entre o uso do solo e o sistema de transporte para se alcançar a mobilidade sustentável. Observa-se

também nos estudos de casos realizados pelos diferentes projetos citados no item 2 deste trabalho, que as medidas implementadas variam de acordo com a política e as características de cada cidade. Assim, como uma forma de avaliar o nível de mobilidade sustentável de uma região e compará-la com outras propõe-se a definição de um Índice de mobilidade sustentável. Para se chegar a este índice e poder auxiliar na avaliação de uma região através do mesmo desenvolveu-se o trabalho nas seguintes etapas:

- Etapa 1- Proposta de indicadores
- Etapa 2- Definição de um procedimento para determinação do Índice de Mobilidade Sustentável
- Etapa 3- Proposta de um Procedimento de Avaliação Espacial da mobilidade sustentável num contexto urbano ou regional.

5. 1 Proposta de Indicadores

De acordo com Gomes et al (2000), os indicadores e índices podem servir para um conjunto de aplicações de acordo com os objetivos em estudo. Dentre as aplicações destacam-se as seguintes:

- atribuição de recursos - suporte de decisões, ajudando os decisores ou gestores na atribuição de fundos, alocação de recursos naturais e determinação de prioridades;
- classificação de locais - comparação de condições em diferentes locais ou áreas geográficas;
- cumprimento de normas legais - aplicação a áreas específicas para clarear e sintetizar a informação sobre o nível de cumprimento das normas ou critérios legais;
- análise de tendências - aplicação a séries de dados para detectar tendências no tempo e no espaço;
- informação ao público - informação ao público sobre os processos de desenvolvimento sustentável;
- investigação científica - aplicações em desenvolvimentos científicos servindo nomeadamente de alerta para a necessidade de investigação científica mais aprofundada.

Gomes et al (2000) apresentam alguns dos principais conceitos associados à utilização de indicadores e índices de desenvolvimento sustentável, que podem esclarecer algumas das dúvidas que a aplicação deste tipo de ferramenta pode suscitar:

- parâmetro - corresponde a uma grandeza que pode ser medida com precisão ou avaliada qualitativamente/quantitativamente e que se considera relevante para a avaliação dos sistemas ambientais, econômicos, sociais e institucionais;

- indicador - parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si, sendo de especial pertinência para refletir determinadas condições dos sistemas em análise (normalmente são utilizados com pré-tratamento, isto é, são efetuados tratamentos aos dados originais, tais como médias aritméticas simples, percentis, medianas, entre outros);
- sub-índice - constitui uma forma intermédia de agregação entre indicadores e índices; pode utilizar métodos de agregação tais como os discriminados para os índices.
- índice - corresponde a um nível superior de agregação, onde após aplicado um método de agregação aos indicadores e/ou aos sub-índices é obtido um valor final; os métodos de agregação podem ser aritméticos (e.g. linear, geométrico, mínimo, máximo, aditivo) ou heurísticos (e.g. regras de decisão); os algoritmos heurísticos são normalmente preferidos para aplicações de difícil quantificação, enquanto os restantes algoritmos são vocacionados para parâmetros facilmente quantificáveis e comparáveis com padrões.

Conforme se pode observar das definições acima a partir de um conjunto de dados (parâmetros ou variáveis) definem-se indicadores que quando utilizados em algum método de avaliação ou dentro de uma função de análise geram os sub-índices ou índices cujos valores servem como ferramentas de auxílio a tomadas de decisão e de análise de situações atuais e futuras.

Tomando-se por base um conjunto de indicadores propostos, a escolha entre estes deve ser feita de acordo com as características da cidade ou área desta, e também de acordo com a disponibilidade de informações para medi-los.

Desta forma, apresenta-se na tabela 9 a seguir a proposta de um conjunto de indicadores de mobilidade sustentável cuja definição se fez a partir das três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica e com base na relação destas com a estrutura urbana e o transporte.

Para definição destes indicadores considerou-se os vários indicadores propostos nos estudos e projetos anteriormente apresentados e a definição de mobilidade sustentável apresentada na introdução do Item 5 deste trabalho. Procurou-se, assim, conjugar, nesta proposta de indicadores, as características da ocupação urbana e uso do solo que incentivam o uso de caminhadas e bicicletas associadas a medidas que propiciem a utilização destes meios para satisfazer as necessidades e atividades diárias da população de uma região e a utilização do transporte público quando estas não puderem ser feitas dentro de um limite de uso do transporte não motorizado. Além disso, procurou-se propor estes indicadores dentro dos macro- elementos da sustentabilidade.

Tabela 9 – Proposta de Indicadores de Mobilidade Sustentável

Dimensões da Sustentabilidade	Indicadores de mobilidade sustentável	
	Ocupação/Estrutura Urbana	Transporte
Meio Ambiente	<p>Extensão de vias com <i>traffic calming</i></p> <p>Parcela de interseções com faixas para pedestres</p> <p>Parcela de vias com calçada.</p> <p>População residente com acesso a áreas verdes ou de lazer dentro de um raio de 500m das mesmas.</p>	<p>Parcela de veículos (oferta de lugares) do TPU utilizando energia limpa.</p> <p>Horas de congestionamento nos corredores de transportes próximos ou de passagem na região.</p> <p>Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 hab.</p>
Social	<p>População residente com distancia média de caminhada inferior a 500m das estações/paradas de TPU</p> <p>Parcela de área de comércio (uso misto)</p> <p>Diversidade de uso comercial e serviços dentro de um dentro de um bloco ou quadra de 500m X 500m</p> <p>Extensão de ciclovias</p> <p>Distancia média de caminhada as escolas</p> <p>Numero de lojas de varejo por área desenvolvida liquida.</p> <p>População dentro de uma distância de 500 m de vias com uso predominante comércios e serviços</p>	<p>Oferta de TPU (oferta de lugares)</p> <p>Frequência de TPU</p> <p>Oferta de transporte para pessoas de mobilidade reduzida.</p> <p>Tempo médio de viagem no TPU para o núcleo central de atividades e comércio.</p> <p>Demanda de viagens por automóveis na região.</p> <p>Tempo médio de viagem TPU x tempo médio de viagem por automóvel.</p>

Econômica	Renda média da população/ custo mensal do transporte público. Baías para carga e descarga.	Custo médio de viagem no transporte público para o núcleo central de atividades Veículo–viagens/ comprimento total da via ou corredor. Parcela de veículos de carga com uso de energia menos poluente. Total de veículos - viagens/ per capita.
------------------	---	--

Com base nesta proposta de indicadores pode-se fazer uma seleção de acordo com a disponibilidade de informações que se tenha da região em estudo e das características das mesmas.

Utilizando este conjunto de indicadores, ou um subconjunto deste, parte-se para a formulação do modelo para determinação do Índice de Mobilidade Sustentável cujo procedimento será apresentado no item 5.2. Antes, porém, para o cálculo deste índice faz-se necessário definir a forma de medir os indicadores, que é apresentada no item a seguir.

5.1.2 Como medir os Indicadores

A forma de medir um indicador varia em função da sua relação com o objetivo do estudo, assim, podem ser medidos através de forma numérica (percentuais, intervalos, ordinal, escalar) ou verbalmente, sendo neste último, considerado como um indicador qualitativo. Neste trabalho, com o objetivo de se definir um índice de mobilidade sustentável procurou-se propor indicadores que pudessem ser numericamente medidos; assim, apresenta-se a seguir uma forma de medi-los:

- **Extensão de vias com *traffic calming***- calculado através de uma razão entre a extensão de vias com implantação de medidas de traffic calming e a extensão total de vias na região.

Unidade: %Km/km

Informação Necessária: extensão das vias em toda a região e identificação de quais têm medidas de Traffic Caming

- **Parcela de vias com calçada.** – percentual de vias com calçadas em ambos os lados com largura superior a 1,20m em relação à extensão total de vias.

Unidade: % Km /km

Informação Necessária: Indicação de quais vias têm calçadas com as características acima

- **Parcela de interseções com faixas para pedestres** – percentual de interseções com faixas para pedestres em relação ao total de interseções.

Unidade: % num.interseções / interseções

Informação Necessária: indicação em cada interseção sobre a existência ou não de faixas de pedestres.

- **População residente com acesso a áreas verdes ou de lazer dentro de um raio de 500m das mesmas** - razão entre a população total dentro deste raio com distancia de caminhada de no máximo 500 m, em vias com calçadas e a população total da área.

Unidade: %População/população

Informação Necessária: população da região subdivida em diferentes grupos (p. ex. setores censitários)

- **População residente com distância média de caminhada inferior a 500m das estações/paradas de TPU-** população residente num raio de 500 m de um ponto de acesso ao transporte público.

Unidade: População

Informação Necessária: população da região subdivida em diferentes grupos (p. ex. setores censitários)

- **Parcela de área de comércio (uso misto)** – razão entre a área total de uso comercial (varejo) e a área total construída.

Unidade: % ha/ha

Informação Necessária: tipo de ocupação do solo em área construída

- **Diversidade de uso comercial e serviços dentro de um dentro de um bloco ou quadra de 500m X 500m** - razão entre número de diferentes tipos de estabelecimentos de comércio e serviço e o total de estabelecimentos numa quadra.

Unidade: tipos de estabelecimentos/ estabelecimentos

Informação Necessária: tipo de ocupação

- **Extensão de ciclovias** – razão entre a extensão de vias com ciclovias e a extensão total de vias coletoras e arteriais.

Unidade: % Km/km

Informação Necessária: extensão de vias com ciclovias

- **Distância média de caminhada às escolas** – média das maiores distancias entre os limites da região e as escolas da mesma. Ou, quando houver disponibilidade de informação, este indicador pode ser medido pela distância média de caminhada dos alunos até as residências.

Unidade: Distância máxima total / num de escolas

Informação Necessária: localização de escolas

- **Numero de lojas de varejo por área desenvolvida líquida** – razão entre o número de lojas e a área total construída.

Unidade: num. lojas/ha

Informação Necessária: localização de lojas de varejo e área total construída

- **População dentro de uma distância de 500 m de vias com uso predominante comércio e serviços** – média de população residente dentro de faixa 500 m ao longo de vias com uso predominante_ acima de 50%, de comércio e serviço.

Unidade: População

Informação Necessária: população da região ao longo de vias com as características acima

- **Renda média da população/ custo mensal do transporte público** – razão entre a renda média mensal da população e o custo total mensal no transporte público referente a duas viagens diárias (ida e volta ao centro urbano).

Unidade: % \$ (renda)/ \$ (tarifa)

Informação Necessária: renda da população da região e tarifas de transporte

- **Baias para carga e descarga** – média da razão entre a extensão de baias de carga e descarga em vias de uso comercial e a extensão destas vias.

Unidade: % Km /km

Informação Necessária: localização de baias e extensão da mesma

- **Parcela de veículos (oferta de lugares) do TPU utilizando energia limpa** – razão a capacidade de transporte público utilizando energia eléctrica, ou a gás, e a capacidade total do transporte público.

Unidade: % capacidade/capacidade

Informação Necessária: frota de veículos com energia limpa e frota total

- **Horas de congestionamento nos corredores de transportes próximos ou de passagem na região** – média diária mensal de horas de tráfego, com nível de serviço F, em vias coletoras ou arteriais dentro da região ou nos limites da mesma, ou seja, com velocidades médias inferiores a 35km/hora.

Unidade: horas

Informação Necessária: horas diárias de congestionamento

- **Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 hab.** – média mensal de acidentes envolvendo pedestres ou ciclistas com veículos para cada mil habitantes.

Unidade: num acidentes/1000 hab

Informação Necessária: número de acidentes ao mês com pedestres e ciclistas

- **Oferta de TPU (oferta de lugares)** – número de lugares ofertados no transporte público em hora de pico.

Unidade: capacidade/ hora

Informação Necessária: capacidade do sistema de transporte em hora de pico

- **Frequência de TPU** – frequência horária de veículos de TPU, no horário de pico.

Unidade: veículos/hora

Informação Necessária: *headway* dos veículos no sistema de transporte público

- **Oferta de transporte para pessoas de mobilidade reduzida** – capacidade média diária de veículos especiais de transporte público para deslocamento de pessoas com mobilidade reduzida. Ou, o número de veículos diários com facilidades para transporte de pessoas com mobilidade reduzida.

Unidade: num. Passageiros/dia ou veícluos/dia

Informação Necessária: horário e capacidade de veículos especiais

- **Tempo médio de viagem no TPU para o núcleo central de atividades e comércio** – tempo médio de viagem na hora de pico entre o centróide da região de estudo e o núcleo central da cidade.

Unidade: minutos

Informação Necessária: tempo de viagem (ou distância média/velocidade média)

- **Demanda de viagens por automóveis na região** – fluxo de tráfego médio diário de transporte por automóvel gerado na região para outras regiões dentro da cidade.

Unidade: num. viagens/dia

Informação Necessária: pesquisa de origem/destino para veículos privados em hora de pico, ou contagem classificada de tráfego nas vias principais de ligação da região.

- **Tempo médio de viagem TPU x tempo médio de viagem por automóvel** – razão entre o tempo médio de viagem no transporte público e o tempo de viagem por automóvel entre o núcleo central da região e o núcleo da cidade.

Função de medida: $1 - (\% \text{ min.TPU} / \text{min.Auto})$

Informação Necessária: tempo de viagem no transporte público e tempo de viagem no transporte privado

- **Custo médio de viagem no transporte público para o núcleo central de atividades** – valor médio pago por viagem no transporte público até o núcleo central da cidade, compreendendo o uso de um ou mais sistemas de transporte.

Unidade: \$ (valor monetário)

Informação Necessária: tarifa no transporte público

- **Veículo–viagens/ comprimento total da via ou corredor** – razão entre o tráfego médio diário de veículos privados nas vias coletoras dentro da região de estudo e a extensão total destas vias.

Unidade: qt veículos-viagens/km

Informação Necessária: contagem classificada de veículos nas vias coletoras e extensão de vias.

- **Parcela de veículos de carga com uso de energia limpa** – razão entre o volume diário de veículos de carga movidos a eletricidade ou a gás e o volume total de veículos de carga circulando na região.

Unidade: % veículos/veículos

Informação Necessária: características da frota de carga

- **Total de veículos-viagem/ per capita** – razão entre o número de viagens diárias por automóvel na região e a população ativa.

Unidade: qt veículos-viagens/pop. ativa

Informação Necessária: pesquisa de destino para veículos privados em hora de pico, ou contagem classificada de tráfego nas vias principais de ligação da região, e população ativa.

A proposta de medida dos indicadores está relacionada com os parâmetros ou variáveis que têm uma relação com a contribuição que o indicador pode ter sobre a mobilidade sustentável. Desta forma, caso não seja possível obter os dados para medi-los da forma indicada, pode-se fazer uma variação desta medida utilizando o mesmo parâmetro ou variável, desde que o procedimento seja utilizado para todas regiões da área de estudo. Desta forma é importante verificar se a informação na forma em que se deseja esta disponível para todas as regiões.

5.2 Procedimento para definição do Índice de Mobilidade Sustentável

O objetivo principal da proposta de indicadores é a definição de um índice de mobilidade sustentável para uma região. E, para definição deste índice propõe-se a formulação de um modelo com base num procedimento de análise multicritério.

Assim, o índice de mobilidade sustentável será um valor resultante de um modelo desenvolvido com base na técnica de avaliação multicritério denominada Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierachy Process-AHP) e, desta forma, obtido de acordo com a seguinte sequência:

- i. Estabelecimento de uma estrutura hierárquica dos Indicadores
- ii. Formulação do modelo a partir da obtenção dos pesos para cada indicador através de uma pesquisa com especialistas.
- iii. Normalização dos valores dos Indicadores para a região de estudo.
- iv. Definição do índice de Mobilidade a partir da atribuição dos valores normalizados dos indicadores na expressão resultante do modelo formulado (ii)

5.2.1 Estrutura Hierárquica dos Indicadores

Dentro do Processo de Análise Hierárquico faz-se necessário distribuir os indicadores propostos em diferentes grupos de análise, que podem ser: Categorias, Dimensões, Temas, Estratégias ou Objetivos.

De acordo com a proposta de indicadores, apresentada no item 5.1, observa-se a possibilidade de distribuí-los em diferentes *Temas* relacionados com o objetivo fim ou estratégia de um conjunto de indicadores, assim, o *Tema* define o primeiro nível de análise e representa uma síntese do conjunto de indicadores associados ao mesmo.

Para estabelecer o conjunto de Temas considerou-se os principais objetivos da mobilidade sustentável que seriam: aumentar o uso do transporte público e do transporte não motorizado _integrando transporte e uso do solo, melhorar a qualidade ambiental, racionalizar o uso do automóvel e manter a economia urbana. Assim, foram considerados 5 temas, descritos a seguir:

- Incentivo ao uso do Transporte Público que visa políticas de uso do solo e transporte que induzam a utilização do transporte público.
- Incentivo ao Transporte não motorizado que considera políticas de uso e ocupação do solo que incentivam a caminhada e uso de bicicletas.
- Conforto Ambiental e Segurança que compreende fatores de transporte e de uso do solo que têm uma relação com a segurança de pedestres e ciclistas e com a qualidade ambiental.
- Conjunção transporte e atividade econômica que compreende fatores relacionados aos custos de transporte e a economia urbana.
- Intensidade de uso do automóvel que compreende fatores indicativos da utilização do veículo privado na região

Os temas propostos e os respectivos indicadores relacionados com os mesmos são apresentados na tabela 10.

Tabela 10- Temas e Indicadores de mobilidade Sustentável

TEMAS	INDICADORES	Influência
Incentivo ao uso do Transporte Público	Oferta de TPU (oferta de lugares)	+
	Frequência de TPU	+
	Oferta de transporte para pessoas de mobilidade reduzida.	+
	Tempo médio de viagem no TPU para o núcleo central de atividades e comércio.	—
	População residente com distancia média de caminhada inferior a 500m das estações/paradas de TPU.	+

<p>Incentivo ao Transporte não motorizado</p>	<p>População residente com acesso a áreas verdes ou de lazer dentro de um raio de 500m das mesmas.</p> <p>Parcela de área de comércio (uso misto)</p> <p>Diversidade de uso comercial e serviços dentro de um dentro de um bloco ou quadra de 500m X 500m</p> <p>Extensão de ciclovias</p> <p>Distancia média de caminhada as escolas</p> <p>Numero de lojas de varejo por área desenvolvida liquida.</p> <p>População dentro de uma distância de 500 m de vias com uso predominante comércios e serviços .</p>	<p>+</p> <p>+</p> <p>+</p> <p>+</p> <p>—</p> <p>+</p> <p>+</p>
<p>Conforto Ambiental e Segurança</p>	<p>Extensão de vias com <i>traffic calming</i></p> <p>Parcela de veículos (oferta de lugares) do TPU utilizando energia limpa.</p> <p>Parcela de vias com calçada.</p> <p>Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 hab.</p> <p>Parcela de interseções com faixas para pedestres</p> <p>Parcela de veículos de carga com uso de energia menos poluente.</p>	<p>+</p> <p>+</p> <p>+</p> <p>—</p> <p>+</p> <p>+</p>
<p>Conjunção transporte e atividade econômica</p>	<p>Custo médio viagem no transporte público para o núcleo central de atividades</p> <p>Renda média da população/ custo mensal do transporte público.</p> <p>Baias para carga e descarga.</p> <p>Tempo médio de viagem TPU / tempo médio de viagem por automóvel.</p>	<p>—</p> <p>+</p> <p>+</p> <p>+</p>

Intensidade de uso do automóvel	Veículo–viagens /comprimento total da via ou corredor	—
	Total de veículos privados-viagem/ per capita.	—
	Demanda de viagens por automóveis na região.	—
	Horas de congestionamento nos corredores de transportes próximos ou de passagem na região.	—

A terceira coluna da tabela 10 foi introduzida com o objetivo de caracterizar se o indicador contribui positivamente ou negativamente para a mobilidade sustentável. Desta forma, os indicadores que recebem o sinal de influência positivo (+) são aqueles que quanto maior o seu valor maior é sua contribuição para a sustentabilidade; e, de forma contrária, aqueles que recebem o sinal de influência negativo (-) têm uma relação inversa com a sustentabilidade, ou seja, quanto maior o seu valor menor a será a mobilidade sustentável.

5.2.2 Formulação do Modelo

Conforme dito anteriormente, propõe-se a formulação do modelo com base no Processo Analítico Hierárquico que compreende a obtenção dos pesos de cada indicador. Uma forma de obtenção destes pesos é através da metodologia de comparação Par a Par desenvolvida por Thomas Saaty (1977, apud Ramos 2000 e 2001) e já comentada neste trabalho. Aplica-se esta metodologia a um grupo de técnicos e especialistas relacionados com o problema em análise, de forma a se obter o peso relativo de cada indicador ou critério.

O processo se baseia numa matriz $n \times n$ (Ramos, 2000) de comparação entre os n critérios ou indicadores, onde as linhas e colunas correspondem aos indicadores, colocados na mesma ordem para coluna e linha. Assim, os valores a_{ij} da matriz representam, a importância relativa do indicador i comparado com o indicador j , sendo que se $a_{ij} = x$ então $a_{ji} = 1/x$ e a diagonal tem valor unitário ($a_{ii}=1$).

O peso de cada indicador por especialista é então obtido de acordo com as seguintes etapas (RAMOS, 2000):

Etapa 1: Construção da matriz de comparação par a par por cada especialista. O número de matrizes corresponde ao número de temas mais 1(um). Então para cada tema existe uma matriz de comparação entre o conjunto de indicadores que fazem parte do mesmo. E uma última matriz é utilizada para se fazer uma análise entre temas.

Etapa 2: Cálculo do *eigenvector* principal através da seguinte equação:

$$W_i = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n} / \sum_{k=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{1/n} \right] \quad (\text{Eq.12})$$

Onde:

a_{ij} - é o valor da matriz par a par correspondente a comparação entre o indicador i e indicador j .

n - número de indicadores

w_i - peso do indicador i

Etapa 3: Cálculo do máximo *eigenvector*. Obtido pela seguinte equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (\text{Eq.13})$$

Sendo que os valores de w'_n é o valor resultante da multiplicação da matriz A de comparação par a par e o vetor obtido na etapa anterior.

Etapa 4: Cálculo do índice de inconsistência, obtido pela equação:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{Eq.14})$$

Etapa 5 : Cálculo do Grau de Consistência

O grau de consistência é obtido em função do Índice de consistência CI e do Índice de Aleatoriedade RI . Saaty (1980, apud Ramos 2000) propõe valores de RI através do cálculo do valor médio de CI obtido por matrizes recíprocas geradas aleatoriamente, assim, o valores de RI , de acordo com o número de indicadores em análise, são aqueles apresentados na tabela 11 a seguir.

Tabela 11 Índice de Aleatoriedade RI (*Random Index*) para $n = 1 \dots 15$

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1.12	10	1,49	15	1,59

Então tomando-se o valor de RI da tabela 10, calcula-se o grau de consistência (CR - Consistency Ratio) pela relação CI / RI .

Etapa 6 – Reavaliação da matriz de Comparação.

Caso o grau de consistência (CR) seja superior a 0,1, será necessário fazer uma reavaliação da matriz de comparação, ou seja, reavaliar os valores definidos na matriz, propondo uma nova matriz de comparação par a par.

Etapa 7 – Peso final de cada indicador

Ao finalizar este processo temos os pesos para cada indicador obtido em função da análise de cada avaliador. Como o peso final obtido varia por avaliador tem-se que chegar a um único valor e, para tal, tira-se a média dos valores obtidos, ou seja, o peso final de cada indicador (w_i) é dado por:

$$W_i = \frac{1}{m} \left(\sum_{k=1}^m w_{ik} \right) \quad (\text{Eq.15})$$

Onde :

m - número de avaliadores

w_{ik} - peso do indicador i resultante da análise do avaliador k

Além disso deve-se analisar o desvio padrão do conjunto de valores, que deve estar dentro de um intervalo aceitável para os valores obtidos.

5.2.3 Medida e normalização dos valores dos indicadores

A forma de medir os indicadores foi proposta no item 5.1.2 deste documento. Como o objetivo é poder fazer uma análise comparativa da mobilidade sustentável entre regiões de uma cidade, torna-se importante definir uma matriz onde cada linha corresponde a um indicador (n - linhas) e cujas colunas correspondem às várias regiões em análise (r - colunas). Assim, tem-se uma matriz $n \times r$, onde cada elemento corresponde ao valor de um indicador para uma determinada região. Feito isto, passa-se a o processo de normalização por linha para obter o valor relativo de cada indicador conforme o procedimento apresentado no item 3.1.1 (pg. 10) deste trabalho.

5.2.4 A Definição do Índice de Mobilidade Sustentável

A definição do índice de Mobilidade Sustentável corresponde a associação dos resultados dos procedimentos apresentados nos itens 5.2.2 e 5.2.3. Observe-se que dentre os temas e indicadores propostos podem existir aqueles que contribuem negativamente (ver tabela 10) para a mobilidade sustentável_ por exemplo, aqueles que fazem parte do tema “Intensidade de uso de automóvel” Desta forma, a expressão que define o índice de Mobilidade (IMS) para cada região (r) de análise, tem as seguintes características:

$$IMS = \sum_{t=1}^m w_t \left(\sum_{i=1}^n a_i w_i v_i \right) \quad (\text{Eq.16})$$

Onde:

a_i – é um parâmetro que recebe o valor 1 ou -1, dependo se o indicador contribui positiva ou negativamente para a mobilidade sustentável

W_i – é o peso resultante atribuído ao indicador i

V_i – é valor normalizado do indicador i , para região r analisada;

W_t – é o peso resultante atribuído ao tema t ;

n – é o número de indicadores considerados por tema;

m – é o número de temas;

5.3 - Avaliação Espacial da Mobilidade Urbana no contexto Urbano e Regional

O índice de Mobilidade Sustentável – IMS proposto no item anterior possibilita uma análise comparativa entre regiões dentro de uma área de estudo que pode ser uma cidade, uma região metropolitana ou até mesmo um estado ou distrito. Permite, ainda, que algumas estratégias de transporte e uso do solo sejam testadas de forma a avaliar a sua influência no valor do índice.

Porém, algumas vezes, é importante também avaliar dentro da área de estudo a relação entre as regiões quanto ao índice resultante. Isto pode ser feito através da análise espacial associada ao SIG. Assim, o que se propõe é que como subsídio ao processo de avaliação da mobilidade sustentável, assim como, na tomada de decisão quanto às estratégias a serem propostas e implementadas, que este índice seja utilizados dentro de um sistema de análise espacial cuja estrutura básica se propõe na figura 6 a seguir.

A estrutura de análise espacial da Mobilidade Sustentável se apóia assim, num Sistema de informações Geográficas, que contenha um banco de dados geo-referenciado das medidas dos indicadores utilizados, incluindo um módulo para formulação do modelo, um módulo de cálculo do IMS e um módulo que permita uma análise espacial através do índice de Moran e do gráfico ou diagrama de Espalhamento de Moran, cujos resultados devem ser apresentados através de mapas em SIG.

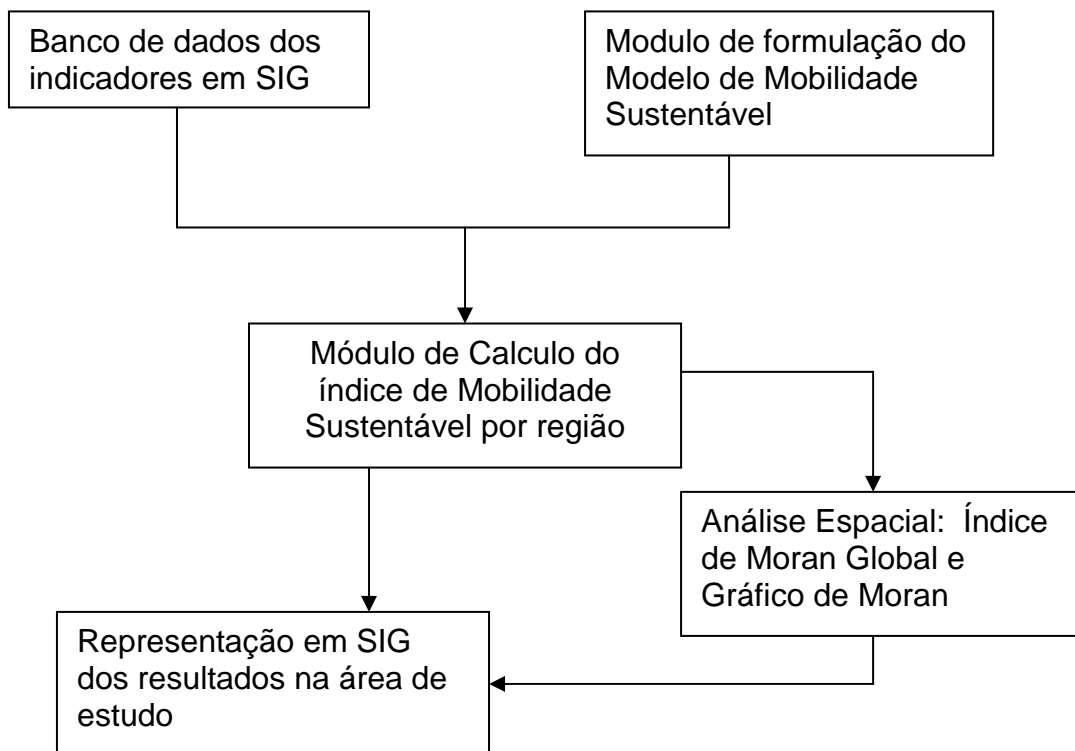


Figura 6 - Estrutura básica de análise espacial da Mobilidade Sustentável

6 – APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

A aplicação do procedimento para determinação do Índice de Mobilidade sustentável teve por objetivo a formulação de um modelo para cálculo do índice. Esta formulação, conforme apresentado anteriormente, se baseia numa avaliação dos indicadores propostos por um grupo de especialistas utilizando o procedimento de avaliação *par a par* proposto por Saaty (apud Ramos, 2000).

6.1 Formulação do modelo

Para esta avaliação foram utilizadas planilhas em Excel (ver anexo) enviadas aos pesquisadores. Foram ao todo e 6 (seis) planilhas onde cinco correspondendo a análise dos indicadores por tema e uma sexta planilha para avaliação dos temas. As planilhas utilizadas tiveram como base a estrutura desenvolvida no trabalho de Ramos (2000) e Marcela (2003).

Após o desenvolvimento de todas as etapas de pesquisa com os especialistas e análise das respostas, obteve-se os pesos relativos de cada indicador assim como de cada tema, apresentados na tabela 11 a seguir.

Tabela 11- Pesos resultantes das análises pelos especialistas

TEMAS	Peso	INDICADORES	Pesos	Desv.
Incentivo ao uso do Transporte Público	0,26	Oferta de TPU (oferta de lugares)	0,28	0,13
		Frequência de TPU	0,22	0,19
		Oferta de transporte para pessoas de mobilidade reduzida.	0,19	0,14
		Tempo médio de viagem no TPU para o núcleo central de atividades e comércio.	0,14	0,07
		População residente com distancia média de caminhada inferior a 500m das estações/paradas de TPU.	0,18	0,10
Incentivo ao Transporte não motorizado	0.25	População residente com acesso a áreas verdes ou de lazer dentro de um raio de 500m das mesmas.	0,09	0,05
		Parcela de área de comércio (uso misto)	0,10	0,05
		Diversidade de uso comercial e serviços dentro de um dentro de um bloco ou quadra de 500m X 500m	0,13	0,03
		Extensão de ciclovias	0,13	0,07
		Distancia média de caminhada as escolas	0,27	0,14
		Numero de lojas de varejo por área desenvolvida liquida.	0,11	0,03
		População dentro de uma distância de 500m de vias com uso predominante comércios e serviços .	0,18	0,10
Conforto Ambiental e Segurança	0,29	Extensão de vias com <i>traffic calming</i>	0,11	0,04
		Parcela de veículos (oferta de lugares) do TPU utilizando energia limpa.	0,08	0,03

Conforto Ambiental e Segurança		Parcela de vias com calçada.	0,22	0,08
		Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 hab.	0,31	0,12
		Parcela de interseções com faixas para pedestres	0,21	0,07
		Parcela de veículos de carga com uso de energia menos poluente.	0,07	0,07
Conjunção Transporte e Atividade econômica	0,09	Custo médio de viagem no transporte público para o núcleo central de atividades	0,29	0,14
		Renda média da população/ custo mensal do transporte público.	0,39	0,21
		Baias para carga e descarga.	0,07	0,03
		Tempo médio de viagem TPU x tempo médio de viagem por automóvel.	0,26	0,19
Intensidade de uso do automóvel	0,10	Veículo–viagens /comprimento total da via ou corredor	0,14	0,09
		Total de veículos privados-viagem/ per capita.	0,19	0,13
		Demanda de viagens por automóveis na região.	0,26	0,08
		Horas de congestionamento nos corredores de transportes próximos ou de passagem na região.	0,41	0,22

Os resultados acima foram obtidos de uma amostra de 7(sete) pesquisadores envolvidos com o problema em questão. Com estes resultados define-se ao modelo utilizando a equação Eq.16, cujo valor final do índice dependerá dos valores dos indicadores para cada região de análise dentro da área de estudo.

6.1 Análise do resultado quanto à importância dos indicadores e temas

Numa análise dos resultados, pode-se avaliar a importância nível de importância dos temas e indicadores propostos. Verifica-se que entre os temas destacam-se: Incentivo ao uso do Transporte Público, Incentivo ao Transporte não motorizado e Conforto Ambiental e Segurança que obtiveram pesos superiores a 0,25 e juntos representam 80% dos pesos. E dentro de cada um destes temas destacam-se os indicadores:

- Oferta de TPU (oferta de lugares),

- Frequência de TPU,
- Oferta de transporte para pessoas de mobilidade reduzida,
- Distância média de caminhada às escolas,
- População dentro de uma distância de 500m de vias com uso predominante comércios e serviços,
- Parcela de vias com calçada,
- Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 hab.,
- Parcela de interseções com faixas para pedestres,

Para uma melhor avaliação da importância de cada indicador, fez o produto do peso do tema pelo peso do atributo, que fornece o peso relativo de cada indicador e chegou-se a tabela 12 que apresenta a ordem de importância dos indicadores propostos.

Tabela12 – Ordem de importância dos indicadores propostos

Ordem	Indicador	Peso relativo
1	Acid.ped/ciclistas	0,0902
2	Oferta de TPU	0,0711
3	Dist. escolas	0,0675
4	vias c/calçada.	0,0629
5	Interseção c/ faixas	0,0598
6	Frequência de TPU	0,0571
7	Oferta mob.reduzida	0,0477
8	Pop. Res. 500m TPU.	0,0458
9	Pop. 500 m de vias	0,0448
10	Renda pop./custoTPU	0,0414
11	Horas congestion.	0,0392
12	Tempo médio TPU	0,0349
13	Diversidade de uso	0,0332
14	Ext.ciclovias	0,0319
15	Ext.traffic calming	0,0307
16	Custo viag. TPU	0,0303
17	Num. lojas varejo	0,0284
18	Tempo viag.TPU /auto	0,0274
19	Parc.uso misto	0,0255
20	Deman. Viag.auto.	0,0252
21	TPU energ. limpa.	0,0227
22	Pop. 500m Verdes	0,0218
23	Veic.Carg. Não Pol.	0,0212
24	Tot.veíc/per cap.	0,0184
25	Veíc–viag/comp.vias	0,0139
26	Baixas carga/desc.	0,0070

Verifica-se na tabela 12 que alguns indicadores que obtiveram valores altos em temas com pesos mais baixos, como por exemplo, horas de congestionamento e renda média da população/custo mensal no TPU, estão entre os 50% indicadores com maiores pesos.

7- CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa teve como objetivo estudar a relação transporte e uso do solo como forma de contribuição ao desenvolvimento sustentável. Para tanto, iniciou-se a pesquisa estudando conceitos e características da sustentabilidade o que possibilitou a visão da relação da mesma com diferentes setores de atuação que estão sintetizados em três dimensões: meio ambiente, economia e sociedade. Observou-se que estas dimensões são um consenso nas pesquisas que estão sendo realizadas com o objetivo de se obter um desenvolvimento sustentável para as cidades, principalmente, nos países que fazem parte da Comunidade Européia.

No seguimento a pesquisa, foram estudadas técnicas relacionadas com a avaliação da sustentabilidade e qualidade de vida nas cidades. Este estudo se baseou em técnicas de avaliação multicritério, análise espacial e sistemas de suporte a decisão. Verificou-se o emprego destas técnicas como suporte ao monitoramento e à avaliação da sustentabilidade, dando apoio a tomada de decisão quanto a estratégias a serem implantadas nas cidades e, conseqüentemente no planejamento da mesma. Muitas destas estratégias se fazem sobre o conhecimento da relação transporte e uso do solo que são avaliadas através de indicadores. Desta forma, a etapa seguinte à pesquisa se constitui no estudo de indicadores de sustentabilidade principalmente aqueles relacionados com o transporte uso do solo. Basicamente os indicadores tinham como objetivo medir ou avaliar a questão da redução do uso do transporte individual, o incentivo ao transporte público e ao transporte não motorizado, a questão de redução das distâncias e tempo de viagens, da poluição ambiental do equilíbrio das atividades e economia urbana.

A partir destes indicadores, procurou-se então propor um procedimento de avaliação da mobilidade sustentável, pois se entende que ao se promover a mobilidade tem-se que trabalhar com fatores de uso do solo associado ao transporte e quando esta mobilidade está associada ao desenvolvimento sustentável, associa-se um novo fator que é a preocupação com o bem estar social, ambiental e econômico da população. Desta forma, foram, inicialmente, propostos indicadores de mobilidade sustentável, para então serem desenvolvidas as etapas do procedimento que tem como objetivo definir um índice de mobilidade sustentável para uma região.

Considera-se que com este índice será possível avaliar comparativamente diferentes regiões de uma cidade e até mesmo se estabelecer um índice padrão, através de pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ANSELIN, L. (1995) **Local Indicators of Spatial Association-LISA**. Geographical Analysis, 27, n.2, 93/115,.
- ANSELIN, L. (1999) **SpaceStat Tutorial** [on line], 1992. <http://www.spacestat.com>.
- AYENI, B. (1997) – The **Design of Spatial decision support Systems in Urban and Regional planning**, Decision Support Systems in Urban Planning, cap1, pp3, Editado por Harry Timmermans, E & FN SPON
- BANISTER, D.,STEAD D.,STEEN, P.;AKERMAN, J.;DREBORG, K.;NIJIKAMP, P.;TAPPESE R.S.; (2000) **Targets for Sustainability Mobility**, European Transport Policy and Sustainability, cap.8 , pp119, Spon Press
- BERTINI, G. C. (2003) **Uma modelagem orientada a objeto para o mapa urbano básico de Belo Horizonte (MUB/BH)**, Monografia de Especialização, Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais.
- CÂMARA, G. (2000) **As Roupas Novas do GIS (Parte II)**. Revista InfoGEO, Ano 3, Nº 13, Maio/Junho-2000, p. 21-22.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A M.V.; CARVALHO, M. S.; DRUCK, S (2002) **Análise Espacial e Geoprocessamento**, Análise Espacial de dados Geográficos, 2ª edição (online), cap.1. disponível <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, capturado 09/2004
- CARVALHO, M.S., CAMARA,G., CRUZ,O.G., CORREA V.(2002) **Análise Espacial de dados** , Análise Espacial de dados Geográficos, 2ª edição (online), cap.5. disponível <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, capturado 09/2004
- COSTA, M.S.; SILVA ,A.N.R.; RAMOS R.A.R. (2004) **Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável para o Brasil e Portugal**. CD: Workshop “Plano Integrado: em busca de desenvolvimento Sustentável para Cidades de Pequeno e Médio Portes” UM, Braga, Portugal
- COSTA, M.S.:(2003) Mobilidade Urbana Sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para o Brasil e Portugal. Dissertação de mestrado, EESC/USP - Pós Graduação em Transportes - 2003.
- EASTMAN, J.R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J.; (1998), **Multi-Criteria and Multi-Objective decision Making for land allocation Using GIS**. In Beinat, E., NijKamp, P. (Eds), Multicriteria analysis for land Use Management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp227-251.
- EASTMAN, J.R.; JIANG, H; (1996) **Fuzzy Measures in Multicriteria Evaluation**. Proceedings, Second International Symposium on Spatial accuracy

Assessment in Natural resources Environmental Studies, Fort Collins, Colorado, pp-527-534.

ERL, E; FEBER G. (2000) **TRANSLAND– Integration of Transport and Land Using Planning**. Working paper disponível em www.inro.tno.nl/transland/ (22/10/2004)

European Environment Agency - EEA (1995), Europe's Environments: The Dobrís Assesment. Edited by Stanners David & Bourdeau Philippe. Copenhagen.

FISCHER M.M. GETIS A. (1997)_ **Advances in Spatial Analysis**, Recent Developments in Spatial Analysis, cap1, pp1-11 Springer Edition

GETS A. ORD K. (1992) **The analysis of Spatial association by use of Distance Statistic**, Geographical Analysis, 24 pp189-206

GOMES, M.L.; MARCÍLIO M.M.;ESPADA M.G.,(2000) Proposta de um sistema de indicadores de Desenvolvimento Sustentável. www.iambiente.pt/sids/sids.pdf, capturado em 29/10/2004.

HAUGHTON, G.; HUNTER C. (1994), **Sustainable Cities**. ISBN 1-85302-234-9

Lautso,K.; Spiekemann, K; Wegener, M.; Sheppard, I.; Steadman P.; Martino A.; Doming, R.; Gayda S.; PRO POLIS – Final Report, 2nd Edition, Filand2004

LUTR (2004), **Land Use and Transport Research** , consultar: www.lutr.net

MELO B.P. (2004) ; **Indicadores de Ocupação Urbana sob o ponto de Vista da Infra-estrutura Viária**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

MENDES, J.F.G. (2004)- **Avaliação da Qualidade de Vida em Cidades: Fundamentos e Aplicações**, CD: Workshop “ Plano Integrado: em busca de desenvolvimento Sustentável para Cidades de Pequeno e Médio Portes” UM, Braga, Portugal

MENESES, H. B. (2003) **Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real**, Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

OECD (1999) **The economic and social implications of sustainable transportation**. Proceedings from the Ottawa workshop, 20-21 October 1998. ENV/EPOC/PPC/T(99)3/FINAL/REV1.

RAMOS R.A.R. (2000), **Localização Industrial : Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal**, Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

RAMOS R.A R., MENDES J.F.G. (2001) **Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença**, Revista Engenharia Civil, num. 10, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

RAMOS R.A.R., SILVA, A.N.R., (2003) **Um contributo para Delimitação da Área Metropolitana do noroeste de Potrugal**, X APDR, SP

RAMOS, F. R., (2002) **Análise Espacial de Estruturas Intra-Urbanas: O Caso de São Paulo**, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.

ROCHA, M. M. (2004) **Modelagem da Dispersão de Vetores Biológicos com emprego da Estatística Espacial**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia-IME, Rio de Janeiro.

PELIZARO C., ARENTZE T.A.,TIMMERMANS H.J.P.(2004) **A Spatial Decision Support System for Provision and Monitoring of Urban Green Space**, Sventh International Conference in Architecture and Urban Planning, disponível em www.ddss.arch.tue.nl (novembro, 2004).

PLUME (2003) – **Synthesis Report on Urban Sustainability and its Appraisal**, PLUME- Planning for Urban Mobility in Europe.

PROPOLIS (2000) *Work Plan*. http://www.ltcon.fi/propolis/PROPOLIS_Abstract_Summary.pdf

PROPOLIS (2004)- Final report
www.ltcon.fi/propolis/PROPOLIS_Abstract_Summary.pdf

PROSPECTS (2004) – Cities Decision Making Requirements [www-ivv.tuwien.ac.at/projects/prospects](http://www.ivv.tuwien.ac.at/projects/prospects)

PROSPECTS (2001) – Task 11 report : Proposal for objectives and indicators in urban land use and transport planning for sustainability . Requirements [www-ivv.tuwien.ac.at/projects/prospects](http://www.ivv.tuwien.ac.at/projects/prospects)

PULGATI, F. H. (2004), **O Uso de Modelos Bayesianos na definição de Áreas Espaciais alteradas por atividade de Perfuração Exploratória Marítima**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

STELLA (2002), Sustainable Transport in Europe and Links and Liaisons with America, Capturado em 23/08/2004 em www.stellaproject.org/TA.htm.

SCATTER (2002). Sprawling Cities And Transport: from Evaluation to Recommendation, capturado em outubro de 2004: www.stratec.be/FichesEstudes/

SOUZA L.C.L, RAMOS R.A.R., SILVA A.N.R,MENDES J.F.G. (2003) Cidades Sustentáveis : Um desafio comum para Brasil e Portugal, III ENCS, São Carlos, São Paulo

TRANSPLUS (2002) – Analysis of Land use and Transport Indicators (excerpt from reports D2.2 and D3). www.transplus.net

TRANSPLUS (2003), – TRANSport Planning, Land Use Land Sustainability.
.Disponível em www.transplus.net.

WOOGD,H.(1983) **Multicriteria Evaluation for Urban and regional Planning**. Pion, London

WGSUT (2004) ,Working Group on Sustainable Urban Transport, Final Report, (Informe del Grupo de la Union Europea sobre Transporte Urbano Sostenible) jan. 2004.

YAGER, R.R. (1988) **On Ordered Weighted Averaging aggregation operators in Multicriteria decision making**. IEEE Transaction on Systems, Man,Cybernetics, Vol.8(1), pp183-190.

ANEXO

Exemplo da Planilha utilizada na Pesquisa

Qual a importância relativa dos indicadores abaixo para medir a mobilidade sustentável ?

Somente os campos em amarelo devem ser preenchidos.

Instruções detalhadas podem ser encontradas na planilha "Instruções".

Clique no link abaixo para voltar ao Menu Principal e acessar as demais matrizes de comparação.

[Menu Principal](#)

Matriz 1 - Comparação dos indicadores relacionados ao Tema: Incentivo ao uso do Transporte Público

	Oferta de TPU	Frequência de TPU	Tempo médio TPU	Pop. Res. 500m TPU.	Oferta mob.reduzida
Oferta de TPU		3	3	1	3
Frequência de TPU	1/3	1	3	1	3
Tempo médio TPU	1/3	1/3	1	1/3	1/3
Pop. Res. 500m TPU.	1	1	3	1	1
Oferta mob.reduzida	1/3	1/3	3	1	1

**Grau de
Consistência** 0,077427

Julgamentos consistentes!

Escala numérica

1 - Igual importância

3 - Linha pouco mais importante que Coluna

5 - Linha muito mais importante que Coluna

7 - Linha bastante mais importante que Coluna

9 - Linha extremamente mais importante que Coluna

1/3 - Coluna pouco mais importante que Linha

1/5 - Coluna muito mais importante que Linha

1/7 - Coluna bastante mais importante que Linha

1/9 - Coluna extremamente mais importante que Linha

