

INDICADORES DE COBERTURA ESPACIAL PARA DIAGNÓSTICO DA DOTAÇÃO DE ESTRUTURA DE CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA BRASILEIRA

Marcos Thadeu Q. Magalhães

George Lavor Teixeira

Yaeko Yamashita

Mestrado em Transportes

Universidade de Brasília

RESUMO

A popularização e desenvolvimento prático do processo de planejamento de transportes em seus diversos níveis de decisão (estratégico, tático e operacional) têm reforçado a necessidade de indicadores para subsídio da tomada de decisão. Apesar deste desenvolvimento, os indicadores usualmente utilizados (extensão e densidade) baseiam-se, ainda, em contextos de limitadas soluções de análise e base de dados disponíveis. O desenvolvimento de novas tecnologias (principalmente os Sistemas de Informação Geográfica) e dados mais confiáveis (bases georreferenciadas) abrem novas perspectivas sobre a geração de indicadores para análise da dotação de estrutura de circulação. O presente trabalho propõe, em consonância com os conceitos de indicador e suas características, utilizando as novas ferramentas disponíveis e considerando o comportamento espacial da rede, o Indicador de Cobertura Espacial de Malha Rodoviária conceitualmente mais confiável e robusto que os indicadores de extensão rodoviária, densidade (espacial) rodoviária e densidade (populacional) de área.

ABSTRACT

The popularization and practical development of the transportation planning process in its decision levels (strategic, tactic and operational) has strengthen the need of indicators as basis of decision making. In spite of this development, the popular indicators (i.e. extension, density) are still based on a previous context of limited technology and data availability. The development of new technologies (i.e. GIS) and reliable geo-referenced databases deliver new perspectives on indicators generation for road network availability analysis. This paper proposes the Road Spatial Coverage Indicator based on the concepts and characteristic of indicators, using the new tools available, and taking into account the road network spatial behavior. Based on its conception this indicator is more robust and reliable than the others (road extension, road [spatial] density, road [population] density).

1. INTRODUÇÃO

O transporte, juntamente com as telecomunicações, energia e outras infra-estruturas, é um elemento-chave tanto no desenvolvimento quanto na contenção das economias de aglomeração (Taaffe *et al.*, 1996), na redução das desigualdades regionais e incremento da competitividade. Custos mais baixos de transporte implicam na possibilidade de expansão espacial do sistema produtivo.

Um outro fator determinante na expansão espacial é, segundo Cox (1972), a conectividade, ou existência de ligações entre um ponto e outro que possibilita a formação de fluxos de deslocamento. Assim, para que uma região possa fazer parte de um sistema produtivo é primeiro necessário que ela esteja “conectada” a ele.

No processo estratégico de planejamento, as decisões em seus diferentes níveis são embasadas em elementos significativos, de reconhecido poder de informação, os indicadores (OECD, 2003; Segnestam, 2002; Federation of Canadian Municipalities, 2002). São eles os elementos de entrada do processo de decisão e sobre os quais são elaboradas as políticas, diretrizes, programas, os planos e procedimentos de execução. Devem, portanto, responder às necessidades de informações dos diferentes tomadores de decisão e são limitados à disponibilidade de dados para sua formulação.

Atualmente, o desenvolvimento de novas ferramentas de análise, a exemplo dos Sistemas de Informação Geográfica, e de bases globais georreferenciadas, com destaque para a base mundial ao milionésimo, coordenada pelo ISCGM (*International Steering Committee for Global Mapping*) e congregando diversos países, abrem novas perspectivas para o processo de tomada de decisão com a possibilidade de geração e análise de novos indicadores, espacialmente concebidos.

Historicamente, o papel do Estado Brasileiro com relação às infra-estruturas de transporte, notadamente a rodoviária, tem sido o de provisão de acesso e promoção da integração nacional, caráter este consolidado nos diversos Planos Nacionais de Viação formulados pelo governo federal (GEIPOT, 2003). Com base neste princípio, do Estado como provedor da infra-estrutura de transportes, e no objetivo constitucional de redução de desigualdades regionais, o gestor, a fim de elaborar políticas de desenvolvimento e investimento, precisa diagnosticar os pontos críticos e necessidades de investimento para o setor.

Este trabalho tem como objetivo o diagnóstico da estrutura de circulação rodoviária utilizando um novo indicador, de cobertura espacial, tirando proveito das funcionalidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da Carta Digital do Brasil ao Milionésimo, gerada pelo IBGE. O objeto de análise, referido anteriormente como estrutura de circulação rodoviária, é parte do ambiente de circulação, que consiste das vias e terminais de acesso (Vasconcellos, 2001).

O artigo está estruturado em 7 seções. As seções 2 e 3 introduzem, respectivamente, os conceitos de indicadores e da análise espacial. Na seção 4 são levantados e analisados os principais indicadores utilizados para mensuração da dotação de estrutura de circulação rodoviária, identificando suas limitações. A quinta seção apresenta o conceito e a formulação do indicador de cobertura espacial. Na seção 6 são gerados e comparados os panoramas brasileiros de dotação de estrutura de circulação obtidos por cada um dos indicadores levantados. Por fim, comentam-se os resultados obtidos.

2. INDICADORES

O termo “indicador” é amplamente referido em diversos ambientes, quer acadêmico quer profissional, quer público quer privado. Isto se deve, em grande parte, à popularização do processo de planejamento que envolve os diferentes níveis de decisão (estratégico, tático e operacional) e da gestão da informação que busca levar a informação correta aonde ela é necessária, para quem e quando ela é necessária.

Indicadores são parâmetros representativos, concisos e fáceis de interpretar que são usados para ilustrar as características principais de determinado objeto de análise (CEROI, 2004). Ou ainda, indicadores são variáveis que, socialmente dotadas de significado adicional àquele derivado de sua própria configuração científica, refletem de forma sintética uma preocupação social e a insere coerentemente no processo de tomada de decisão (MMA-Espanha *apud* Royuela, 2001).

Segundo Royuela (2001), as funções de um indicador são: (i) prover informações sobre os problemas enfocados; (ii) subsidiar o desenvolvimento de políticas e estabelecimento de prioridades, identificando fatores-chave; (iii) contribuir para o acompanhamento das ações definidas, especialmente as de integração; e, (iv) ser uma ferramenta de difusão de informações em todos os níveis.

Para a OECD (2002), um bom indicador deve atender aos seguintes requisitos:

Quadro 1: Requisitos de um bom indicador (OECD, 2002).

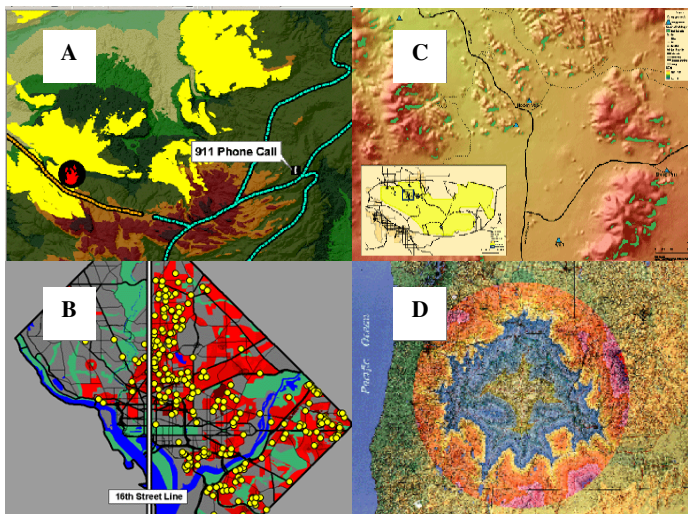
1. Relevância para formulação de políticas	1.1. Representatividade
	1.2. Simplicidade
	1.3. Captar mudanças
	1.4. Servir de base para comparações em nível internacional
	1.5. Escopo abrangente
	1.6. Possuir valores de referência para dar significação aos valores que assume
2. Adequação à Análise	2.1. Cientificamente fundamentado
	2.2. Baseado em padrões internacionais e possuir um consenso internacional sobre sua validade
	2.3. Poder ser utilizado em modelos econômicos, de previsão e em sistemas de informação
3. Mensurabilidade	3.1. Viável em termos de tempo e recursos
	3.2. Documentado adequadamente
	3.3. Atualizado em intervalos regulares

Em suma, indicadores condensam informação, possibilitam a aproximação a problemas complexos através da simplificação e servem como elementos de difusão de informação.

3. ANÁLISE ESPACIAL

Análise Espacial é qualquer processo de apresentação, manipulação, análise, inferência e estimação de dados espaciais (localizados no espaço). É o principal diferencial entre os tradicionais sistemas de informação e os SIGs (Dantas *et al.*, 1996).

Entre algumas das operações possibilitadas pela análise espacial estão: a geração de novos dados, ou uso de dados espaciais para obter outros dados, tais como distância entre estradas, densidade populacional etc. (Figura 1a); a identificação de sobreposições espaciais, explorando as inter-relações entre as camadas (Figura 1b); definição das locações mais adequadas para determinados objetivos, como a localização de centros de distribuição (Figura 1c); calcular custos de viagem (Figura 1d), entre outros (Teixeira, 2003).



Diversas outras operações fazem parte das funcionalidades de um SIG, mas as que se mostram potenciais para o desenvolvimento de indicadores de cobertura espacial, são:

- Operações de dados tabulares, ou seja, manipulação dos atributos (dados não geográficos) associados a cada feição (dado geográfico), a exemplo de operações matemáticas entre campos;
- Definição de áreas envolventes (*buffers*) correspondentes a faixas de distância a uma feição (ponto, linha);
- Operações entre camadas (*layers*) de dados, como interseção, agregação, desagregação, entre outras.

4. OS INDICADORES DE ESTRUTURA DE CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA

A existência de indicadores como elementos para mensuração do nível de transporte de uma região não é algo recente. No Brasil, diversos organismos, a exemplo do extinto GEIPOT, têm colhido e divulgado diversos dados sobre o setor há mais de 20 anos. No exterior, a exemplo dos Estados Unidos e Europa, institutos e órgãos governamentais têm tido empenho semelhante, senão superior, na geração de dados sobre o setor.

Apesar da quantidade de dados, apenas alguns podem ser utilizados como indicadores para a mensuração da dotação de estrutura de circulação rodoviária. Até então, a inexistência de uma base cadastral confiável da malha rodoviária dificultava a geração de indicadores mais refinados sobre o setor.

Nesta seção são levantados e analisados alguns dos principais indicadores de oferta de infraestrutura de transportes, nacionais e internacionais.

4.1. Extensão Viária

Este indicador contabiliza a extensão de vias (por tipo) para uma determinada unidade de agregação (município, micro-região, meso-região etc). É o mais simples dos indicadores utilizados atualmente para mensurar a oferta de malha rodoviária, utilizado tanto no Brasil quanto no exterior (GEIPOT, CNT, Banco Mundial) (IPEA, 2003). Sua fórmula pode ser escrita na forma,

$$E_{Rodo|X} = \sum_{r \in X} r_i \quad (1)$$

em que r_i : extensão da rodovia i
 X : região de estudo X

Este indicador é utilizado tanto em análises *cross-section*, comparando diversas regiões, quanto em análises temporais, indicando a evolução durante o tempo, e principalmente em forma tabular.

Dada a sua formulação, este indicador apresenta algumas limitações. Considere-se uma situação hipotética (Figura 2) na qual se tem dois municípios de áreas diferentes mas com a mesma extensão de malha rodoviária. A análise da dotação utilizando este indicador, que contabiliza a extensão absoluta da malha, indicaria que os municípios possuem o mesmo nível de dotação (x), o que, para um gestor, poderia indicar que o município 1 está tão bem quanto o 2, o que intuitivamente não parece correto. Esta mesma analogia serve se considerarmos a população residente.

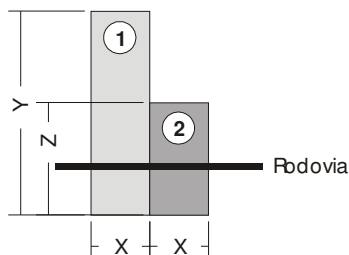


Figura 2: Situação Hipotética: Municípios com área diferente mas mesma extensão de rodovia.

Um bom indicador deve servir como base para comparações. A extensão rodoviária não é, portanto, adequada para realizar comparações de dotação entre unidades territoriais com áreas diferentes, como acontece na divisão político-administrativa do Brasil. Ele serve, no entanto, como um *proxy* para estimação de investimentos na malha viária, uma vez que existe uma correlação direta entre o valor investido e a expansão da malha.

4.2. Densidade (Espacial) da Rede Viária

Este indicador, que vence algumas limitações do anterior, representa a relação entre a extensão de vias (por tipo) e a área da unidade de agregação (município, micro-região, meso-região, etc). É um indicador mais interessante para a avaliação da oferta de infra-estrutura rodoviária, sendo utilizado pela CNT, Banco Mundial e União Européia (IPEA, 2003). Sua fórmula pode ser escrita na forma,

$$D_{Rodo | X} = \frac{\sum_{r \in X} r_i}{A_X} \quad (2)$$

em que r_i : extensão da rodovia i
 X : região de estudo X
 A_X : área da região X

Do exemplo apresentado no item anterior, pode-se inferir que este indicador melhor representa a dotação, já que consiste numa razão entre a extensão e a área territorial que, no exemplo anterior, resultaria num resultado mais desfavorável para o município 1. Ele, no entanto, concebe que todos os pontos da área considerada têm o mesmo nível de acesso, noção que contradiz a maior parte das teorias da geografia dos transportes (Cox, 1976; Taaffe *et al.*, 1996) que, baseadas em modelos gravitacionais, concebe a acessibilidade (e mesmo a força de influência) como inversamente proporcional à distância.

4.3. Densidade (Populacional) da Rede Viária

É apenas uma variação do anterior. Ao invés de ponderar a malha pela área da unidade de agregação considerada, pondera-se sobre sua população. Tenta ser, portanto, um indicador de acesso à infra-estrutura e pode ser escrito na forma,

$$D_{Rodo|X} = \frac{\sum_{r \in X} r_i}{P_X} \quad (3)$$

em que

r_i :	extensão da rodovia i
X :	região de estudo X
P_X :	população de X

De forma semelhante ao anterior, este indicador não considera as áreas das aglomerações populacionais, considerando a população igualmente distribuída pela unidade territorial considerada.

4.4. Indicadores Baseados na Extensão Rodoviária: o Problema do Tudo-ou-Nada

Existe ainda um sério problema quando se considera apenas a extensão viária ou seus compósitos para a formulação de indicadores: o problema do tudo-ou-nada. Seus efeitos são mais graves quando se consideram dados mais desagregados, a exemplo de municípios. A Figura 3 ilustra o problema para a rede estadual e federal.

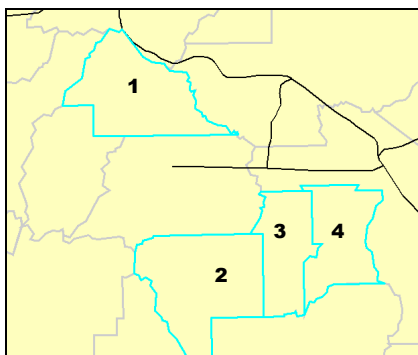


Figura 3: O problema do Tudo-ou-Nada na análise dos indicadores baseados na extensão rodoviária e seus compósitos.

No caso acima, apesar de estarem muito próximos à malha rodoviária, os municípios 1, 2, 3 e 4 não possuem nenhuma estrada passando por eles. Nestes casos, os indicadores de extensão viária e densidade se igualariam a 0, indicando que eles não possuem acesso à infra-estrutura, o que não é totalmente verdadeiro, uma vez que o acesso às rodovias pode ser feito por estradas vicinais e outros caminhos que nem sempre podem ser representados na base.

Dado o exposto, enfatizando as limitações inerentes à formulação dos indicadores apresentados, a seção seguinte apresenta a proposta de um indicador que, considerando o comportamento espacial da infra-estrutura de transporte rodoviário, seja livre das limitações discutidas.

5. INDICADOR DE COBERTURA ESPACIAL DE ESTRUTURA DE CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA

Na seção anterior foram apresentados os indicadores usualmente utilizados na avaliação da provisão de infra-estrutura rodoviária e suas respectivas limitações. Entre elas, a mais importante para efeitos deste trabalho é o desprendimento dos indicadores da dimensão espacial, inerente aos problemas de transporte.

5.1. A Dimensão Espacial da Malha Rodoviária

Taaffe *et al.* (1996), ao analisar as interferências dos transportes na organização do território, consideram que os diferentes modos de transporte possuem diferentes comportamentos espaciais.

Analizando-se as interferências das rodovias no desenvolvimento das aglomerações urbanas (Mumford, 1998) percebe-se que, ao contrário dos portos, aeroportos e ferrovias cuja cobertura responde a um padrão pontual, elas seguem um padrão linear, formando uma faixa ao longo de toda a sua extensão. A Figura 4A mostra o desenvolvimento de uma aglomeração humana em sentido predominantemente longitudinal (como ocorreu, e ainda ocorre em muitas cidades brasileiras às margens de rodovias), e 4B mostra um padrão de desenvolvimento concêntrico, característico das cidades originadas por estações ferroviárias.

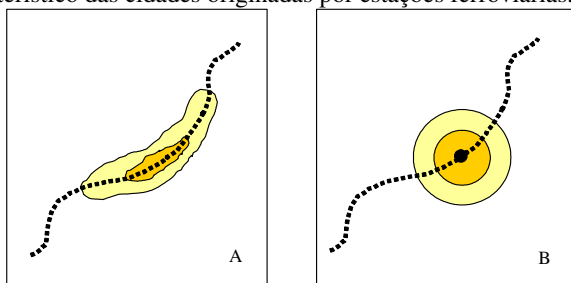


Figura 4: Expansão longitudinal de um núcleo urbano acompanhando a rodovia (A) e a expansão concêntrica que caracterizou o desenvolvimento de núcleos urbanos polarizados por ferrovias (B).

É desejável que um indicador de estrutura de circulação considere em sua formulação o comportamento espacial da malha.

5.2. Indicador de Cobertura Espacial de Malha: Proposta Conceitual

A noção de cobertura espacial, semelhante à de área de influência, é freqüentemente utilizado em análises de posicionamento de instalações de serviço público e antenas de telecomunicação. A área de cobertura pode ser entendida como uma região no entorno de algum elemento do mundo real, na qual podem ser percebidas as influências deste elemento. Levando em conta o comportamento espacial indicado na seção anterior, pode-se dizer que a área de influência de uma rodovia constitui-se numa faixa ou região ao redor da malha. Estas faixas são comumente chamadas de *buffers* (Figura 5).

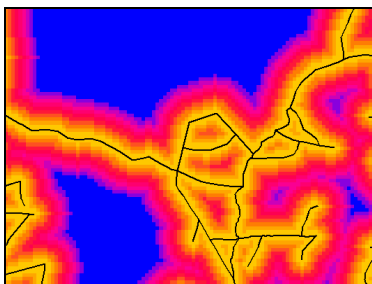


Figura 5: Buffers da rede rodoviária. Cada tom representa uma faixa de distância do ponto à rede.

A vantagem de utilizar o conceito de área de cobertura para a formulação do indicador é a eliminação do problema Tudo-ou-Nada que ocorre quando se computa apenas a extensão rodoviária por unidade de agregação de área. O problema Tudo-ou-Nada está ilustrado na seção 4.4. A Figura 6 mostra a situação dos mesmos municípios considerados na seção 4.4., agora considerando a cobertura da malha. O município 4, por exemplo, seria classificado como desprovido de infra-estrutura rodoviária, mas aqui se percebe que grande parte de seu território está em faixa próxima a uma rodovia, o que representa melhor a realidade.

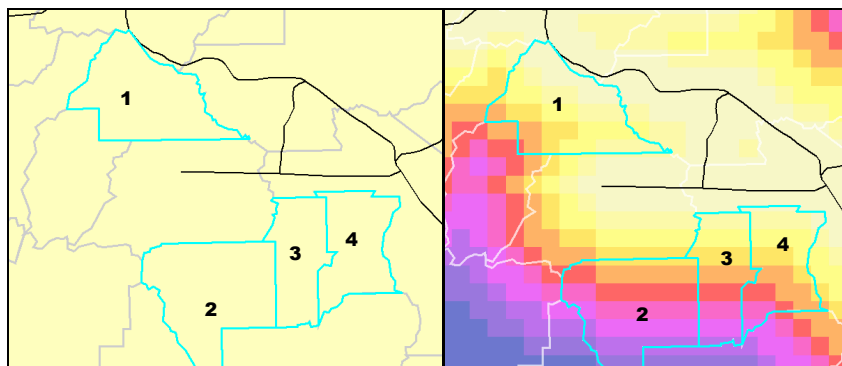


Figura 6: Os municípios da figura 3 e *buffers* das rodovias.

5.3. Procedimentos para Composição do Indicador de Cobertura Espacial de Malha Rodoviária

Dada à complexidade de cálculos exigidos e a necessidade de uma base georreferenciada, a utilização de um SIG é uma condição para a composição do indicador. São, ainda, necessários para a composição: malha digitalizada das rodovias e limites das áreas de agregação a serem utilizadas. Satisfeitas as condições anteriores, procede-se aos seguintes passos:

5.3.1. Criação dos *buffers*

Nesta etapa são geradas as faixas de distância (sem superposição) dos pontos em relação às rodovias. O intervalo de distância pode ser definido através de diversos critérios como custo máximo, distância máxima de influência, entre outros.

5.3.2. Reclassificação

Este procedimento permite que se criem classes de faixas, tornando possível a inserção de uma nova classe para distâncias superiores à distância máxima estabelecida para o *buffer*, bem como unindo faixas de distância em uma única.

5.3.3. Interseção com os limites da unidade espacial de agregação

Esta operação “fatia” os *buffers* para cada unidade de área desejada. Isto gera, para cada faixa de distância, áreas estanques dentro da região considerada para análise, permitindo a consulta do perfil de cobertura para a área de estudo.

5.3.4. Transformação da tabela de dados

Este procedimento depende de manipulação de dados, podendo ser feito com uma instrução em linguagem SQL (usada no Access) ou outra funcionalidade específica do pacote SIG utilizado. O objetivo é resumir a tabela de dados gerada pelo processo anterior contabilizando quanto de área cada região de estudo possui para cada tipo de faixa de distância (*buffer*).

5.3.5. Composição do Indicador

Como pode ser inferido das noções introduzidas no item 5.1., e da 1ª Lei da Geografia de Tobler (“Tudo está relacionado a tudo, mas as coisas próximas estão mais relacionadas que as distantes”) (Teixeira, 2003), o poder de atração, ou influência, de uma rodovia decresce com o aumento da distância. Desta forma, sugere-se a atribuição de pesos diferenciados para cada faixa de distância. O indicador poderia, assim, ser escrito da seguinte forma,

$$IC_{RodolX} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma(i) A_i}{A_X} \quad (4)$$

em que	IC_{RodolX} :	Indicador de cobertura espacial rodoviária para a região X
	$\gamma(i)$:	Função que determina o peso atribuído à i-ésima faixa de cobertura (<i>buffer</i>) tal que $\gamma(i) \in [0;1]$
	A_i :	Área da i-ésima faixa (<i>buffer</i>) pertencente a X
	A_X :	Área da região de estudo X
	n :	Número de faixas.

Com $IC_{RodolX} \in [0;1]$, sendo que os valores próximos a zero (Péssimo) indicam precariedade de cobertura/acesso à estrutura de circulação e valores próximos a 1 (Ótimo) indicam boa dotação de estrutura de circulação.

6. PANORAMAS DA DOTAÇÃO DE ESTRUTURA DE CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA A PARTIR DE DIVERSOS INDICADORES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Para a comparação entre os diversos indicadores, utilizou-se a base georreferenciada de rodovias do IBGE, considerando as malhas federal e estadual e as principais rodovias municipais e tendo como unidade territorial de análise os municípios. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

O indicador de cobertura espacial de malha foi gerado da seguinte forma, para o estudo de caso:

a) Foram definidas arbitrariamente 10 faixas de 5Km a partir do eixo rodoviário, numeradas de 1 a 11, com a seguinte estrutura de pesos: $\gamma_{0-5Km}=1,0$; $\gamma_{5-10Km}=0,9$; $\gamma_{10-15Km}=0,8$; $\gamma_{15-20Km}=0,7$; $\gamma_{20-25Km}=0,6$; $\gamma_{25-30Km}=0,5$; $\gamma_{30-35Km}=0,4$; $\gamma_{35-40Km}=0,3$; $\gamma_{40-45Km}=0,2$; $\gamma_{45-50Km}=0,1$; $\gamma_{+50Km}=0,0$. Esta estrutura de pesos traduz a noção de que o poder de polarização de uma rodovia decresce em função da distância. Uma função linear $\gamma(i) = 1 - 0,1(i - 1)$ para $\{i \in \mathbb{N} | i \leq 11\}$ de estrutura de pesos foi selecionada apenas para efeitos de simplificação.

Os indicadores não-espaciais foram gerados através de operação entre campos de tabela conforme definições especificadas nos itens 4.1 e 4.2. Não foi analisado, no estudo de caso, o indicador de densidade para população.

A Figura 7, abaixo, mostra diferentes mapas temáticos gerados utilizando cada um dos indicadores sobre a malha rodoviária (A), onde as áreas escuras indicam os municípios melhor providos, segundo cada indicador, e as áreas claras os menos favorecidos. Os dados

foram agrupados segundo o método de classificação de “quebras naturais” (Jenks) (Minami, 2000), no qual as quebras são determinadas estatisticamente através da identificação de pares de feições entre as quais existe uma diferença significativa no valor do dado associado. As classes geradas para cada indicador, utilizando o algoritmo de Jenks, podem ser observadas no Quadro 2, abaixo.

Quadro 2: Classificação dos Dados Indicadores Extensão, Densidade Viária e Índice de Cobertura de Malha gerada por Quebras Naturais (Jenks).

Classes	Extensão	Densidade	IC
Péssimo (Cinza Claro)	0,0000-140,4000	0,0000-0,2685	0,0000-0,2276
Ruim	140,4000-299,0000	0,2685-0,5684	0,2276-0,5621
Moderado	299,0000-533,0400	0,5684-1,0201	0,5621-0,8080
Bom	533,0400-938,9000	1,0201-1,8568	0,8080-0,9426
Ótimo (Cinza Escuro)	938,9000-2010,6000	1,8568-4,4717	0,9426-1,0000

Agora, observem-se os resultados obtidos.

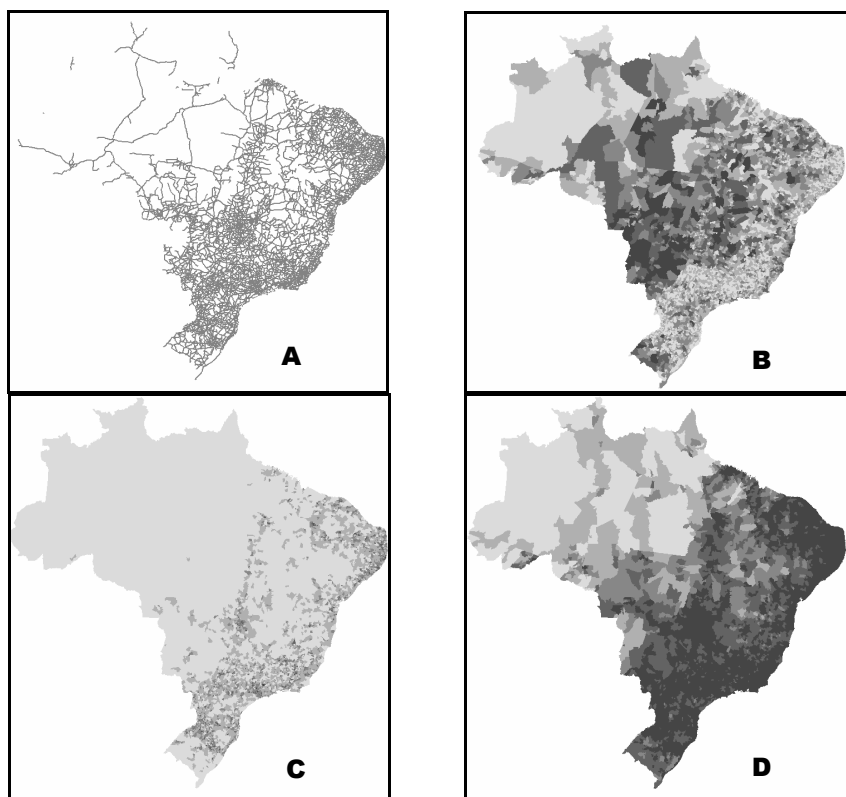


Figura 7: Os Mapas Temáticos dos Indicadores de Oferta de Infra-Estrutura (por Município): Rede viária (A); Extensão de Rodovias (B); Densidade de Malha Viária (C) e Indicador de Cobertura Espacial das Rodovias (D).

O mapa A (Figura 7) ilustra a distribuição da malha rodoviária nacional. Pode-se perceber uma concentração no eixo Sul-Sudeste, bem como nas áreas mais próximas ao litoral brasileiro, fenômeno que pode ser explicado pela concentração dos investimentos nas Regiões

Sul-Sudeste, bem como a evolução histórica da ocupação do território no sentido litoral-interior. Para se avaliar qual o indicador traduz melhor esse panorama, comparemos os mapas B, C e D na Figura 7, representando respectivamente os indicadores extensão rodoviária, densidade rodoviária (área) e o indicador de cobertura espacial proposto. Para a seleção do mais adequado, considerar-se-á aquele que apresentar as áreas escuras que melhor acompanhem a aparência do mapa A.

Tomemos inicialmente o mapa B (Figura 7). Comparando com o mapa A percebe-se que as áreas mais bem providas estão classificadas como pouco favorecidas. Isto se deve ao fato das áreas deste mapa representarem a extensão rodoviária existente no município e, naturalmente, municípios de menores áreas, característicos nestas regiões, possuirão menor extensão de rodovias. Esta correlação entre área e extensão viária, torna este indicador inadequado para a avaliação quando existe grande variabilidade no tamanho dos municípios, como é o caso do Brasil.

Agora, se observarmos o mapa C representando a densidade viária por município, pode-se perceber que este indicador consegue traduzir melhor o fenômeno da distribuição da malha viária que o anterior, explicitado pelas manchas mais escuras desenvolvendo-se na região Sul-Sudeste e ao longo do litoral. No entanto, como é derivado da extensão rodoviária, ele está sujeito ao problema do Tudo-ou-Nada (item 4.4.) determinando áreas onde a densidade cai para níveis próximos à zero (áreas mais claras).

Por fim, tome-se o mapa D, representando o indicador espacial proposto. Neste mapa, as manchas mais escuras acompanham a distribuição da malha viária, aproximando-se bastante do padrão do mapa A. A região Norte, que no mapa C apresentava-se, segundo o indicador de densidade (mapa C), completamente desprovida de malha viária, possui agora algumas áreas onde existe cobertura do sistema. Note-se que o resultado do indicador é uma função das faixas de distância (área de influência) e dos pesos atribuídos a cada uma. Se a área de influência for progressivamente reduzida e os pesos das áreas mais distantes tenderem à zero, o indicador de cobertura se aproximará do de densidade.

Isto posto, conclui-se que existe uma significativa melhora na representação da malha viária no sentido B - C - D, sendo que os indicadores C e D, por considerarem a área em sua composição, representam melhor a distribuição da malha, e o D o que melhor consegue representar esta distribuição espacial.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de indicadores espaciais que tiram proveito do desenvolvimento de novas ferramentas analíticas e novas bases de dados georreferenciados é, hoje, uma realidade. Isto se deve não só ao desenvolvimento tecnológico que tem aprimorado os sistemas de informação geográfica, como também iniciativas internacionais que em pouco tempo tornarão acessíveis diversos tipos de dados especializados de diversos países do mundo.

Os indicadores usualmente utilizados para a avaliação da dotação de estrutura de circulação foram desenvolvidos num contexto de poucas ferramentas analíticas e inexistência de bases georreferenciadas. Como pode ser observado no estudo de caso, seus resultados nem sempre conseguem refletir adequadamente a realidade, uma das funções dos indicadores, e direcionar corretamente a tomada de decisão. Para contornar esta limitação, a inclusão da análise espacial da infra-estrutura é um fator primordial na composição dos indicadores, alterando

significativamente a capacidade destes traduzirem as reais condições de oferta (e acesso) à rede viária, em condições de grande variabilidade dimensional das unidades de agregação.

Apesar da superioridade apresentada pelo Indicador de Cobertura Espacial de Malha, ainda são necessários estudos para melhor validá-lo e consagrá-lo como uma ferramenta realmente eficaz e eficiente para informação dos tomadores de decisão. Neste sentido, sugere-se que ele seja utilizado em modelos econométricos em substituição aos indicadores usualmente utilizados, avaliando comparativamente os coeficientes resultantes. Sugere-se, ainda, relacioná-lo ao resultado econômico de diversos setores produtivos, bem como extensão de terras cultiváveis improdutivas. Sugere-se, ainda, estudos para calibração da função peso mais adequada para a análise da malha.

Por fim, o Indicador de Cobertura Espacial de Malha pode ainda ser utilizado e refinado para análise de eficiência, relacionando-se a área de cobertura e a extensão da via obtendo a área de cobertura por extensão linear de malha (km^2/km). Este indicador pode indicar quais as soluções mais eficientes no sentido da expansão da área do território atendida. Indica-se, também, que para fins estratégicos gere-se um Índice de Cobertura Multimodal que reflita a disponibilidade da rede multimodal do país, proporcionando uma visão integrada de todos os sistemas de transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEROI – Cities Environment Reports on the Internet (2004). Introduction to the Cities State of Environment. <<http://ceroi.net/reports/johannesburg/csoe/html/nonjava/Introduction/introduction.htm>>. Acessado em 22/03/2004.
- Cox, K. R. (1972) *Man, Location and Space: An Introduction to Human Geography*. John Wiley&Sons, New York.
- Dantas, A. S., Taco, P. W. G., Yamashita, Y. (1996). Sistemas de Informação Geográfica em Transportes: o Estudo do Estado da Arte. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. ANPET, Brasília.
- Federation of Canadian Municipalities (2002). *Developing Indicators and Benchmarks: A Best-Practice by The National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure*. Canada.
- GEIPOT (2003). *Transportes no Brasil. Histórias e Reflexões*. Ministério dos Transportes, Brasília.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2003). *Infra-Estrutura Econômica – Sistema de Informações Regionalmente Especializadas: Desenvolvimento Metodológico e Mapeamento de Informações*. Relatório Final. IPEA, Brasília (Não Publicado).
- McCoy, J. e Johnston, K. (2002) *Using ArcGIS Spatial Analyst*. ESRI, New York.
- Minami, M. (2000) *Using ArcMAP*. ESRI, New York.
- Mumford, L. (1998). *A Cidade na História*. 4ª ed.: Martins Fontes, São Paulo.
- OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development (2003). *OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use*. OECD: Paris.
- Royuela, M. A. (2001). Los Sistemas de Indicadores Ambientales y su Papel en la Información e Integración Del Medio Ambiente. *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*., p.1231-1256.
- Segnestam, L. (2002). *Indicators of Environmental and Sustainable Development: Theories and Practical Experiences*. World Bank, Washington DC.
- Taaffe, E., Gauthier, H., O’Kelly, M. (1996) *Geography of Transportation. Second Edition*.. Prentice Hall, New Jersey.
- Teixeira, G. L. (2003). *Uso de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial*. Dissertação de Mestrado. UnB, Brasília.
- Vasconcellos, E. A. (2001) *Transporte urbano, espaço e equidade: Análise de Políticas Públicas*, 2ª. ed. . Annablume, São Paulo.

Capítulo 12

Transporte Aéreo

