

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1484

**TEORIA DE REDES COMPLEXAS
E O PODER DE DIFUSÃO DOS
MUNICÍPIOS**

**Bernardo Assunção Mello
Daniel Oliveira Cajueiro
Luiz Henrique Batistuta Gomide
Roberta Vieira
Rogério Boueri**

Brasília, abril de 2010

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1484

TEORIA DE REDES COMPLEXAS E O PODER DE DIFUSÃO DOS MUNICÍPIOS*

Bernardo Assunção Mello**

Daniel Oliveira Cajueiro***

Luiz Henrique Batistuta Gomide****

Roberta Vieira*****

Rogério Boueri*****

Brasília, abril de 2010

* Este trabalho não seria possível sem as informações utilizadas para a construção das redes. Desse modo, os autores gostariam de agradecer à gerência de acompanhamento e controle de tarifas e preços da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel); em particular, ao Sr. Reno Martins que, além de fornecer diversos dados técnicos, solicitou às operadoras as informações sobre ligações telefônicas entre localidades.

** Professor do Instituto de Física da Universidade de Brasília.

*** Professor do Departamento de Economia da Universidade de Brasília e membro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - sistemas complexos.

**** Bolsista do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) do Ipea.

***** Técnica de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea.

***** Técnico de Planejamento e Pesquisa da Dirur do Ipea.

Governo Federal

**Secretaria de Assuntos Estratégicos da
Presidência da República**
Ministro Samuel Pinheiro Guimarães Neto

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Marcio Pochmann

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Fernando Ferreira

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Mário Lisboa Theodoro

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

José Celso Pereira Cardoso Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

João Sicsú

Diretora de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Liana Maria da Frota Carleial

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura

Márcio Wohlers de Almeida

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

Jorge Abrahão de Castro

Chefe de Gabinete

Persio Marco Antonio Davison

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação

Daniel Castro

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

ISSN 1415-4765

JEL C44; C63; R19

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	7
2 TEORIA DE REDES COMPLEXAS E A DETERMINAÇÃO DA CENTRALIDADE	8
3 REDES DE MUNICÍPIOS	14
4 METODOLOGIA UTILIZADA PARA CRIAR A LISTA DE MUNICÍPIOS POR ORDEM DE PODER DE DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO	26
5 <i>RANKING</i> DOS MUNICÍPIOS POR PODER DE DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO	27
6 CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS	30

SINOPSE

Este trabalho objetiva contribuir para a tomada de decisões de alocação de recursos públicos no âmbito do Poder Legislativo federal. O foco foi a construção de critérios que pudessem eleger, em cada microrregião, as câmaras municipais com maior poder de difusão e influência no processo legislativo das demais. Com este objetivo, construiu-se o indicador da centralidade do município, baseado na teoria das redes complexas.

ABSTRACTⁱ

This paper aims at contributing to the decision-making regarding the allocation of public resources under the Federal Legislative Power. The focus of the paper was to construct criteria that could help elect the municipal legislative council in each micro-region that has the greatest power of dissemination and influence in the legislative process of surrounding councils. To this end, we constructed the indicator of “municipality centrality” based on the theory of complex networks.

i. *The versions in English of the abstracts of this series have not been edited by Ipea's editorial department.*
As versões em língua inglesa das sinopses (*abstracts*) desta coleção não são objeto de revisão pelo Editorial do Ipea.

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa surgiu da necessidade de se estabelecerem critérios de elegibilidade para a alocação de recursos públicos que têm por objetivo integrar e modernizar o legislativo brasileiro. O Interlegis, programa executado pelo Senado Federal em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), busca melhorar a comunicação e o fluxo de informação entre os legisladores, aumentar a eficiência e competência das câmaras legislativas e promover a participação cidadã no processo legislativo.

A fim de colaborar para que a alocação dos recursos seja realizada de forma a promover o maior impacto possível em termos de melhoria do processo legislativo municipal no Brasil, este estudo apresenta uma metodologia baseada na teoria das redes complexas (ALBERT e BARABASI, 2002; BOCCALETTI *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2007). A utilização desta metodologia tem por finalidade apontar os municípios que possuem maior poder de difusão e influência dentro de cada microrregião, e que, por hipótese, possuem as câmaras legislativas que terão maior poder de propagação na melhoria dos processos legislativos.

De forma simples e resumida, redes complexas são sistemas não homogêneos, estruturados em formas de rede. Não homogeneidade, neste contexto, significa que cada elemento (nó) da rede possui características individuais, como os municípios sobre os quais este estudo se interessa. Na última década, para estudar estes sistemas foram introduzidas várias técnicas que caracterizam o conjunto da rede e os seus nós individuais.

Este trabalho consistiu na construção de redes de municípios, a fim de se explorarem diferentes aspectos dos municípios a serem usados como *proxies* para o fluxo de informação entre municípios. Uma vez que interessa ao estudo apontar os municípios com maior poder de difusão, focou-se o cálculo da centralidade de cada um dos municípios a partir das características das redes. Em particular, analisou-se a questão da centralidade dos municípios de três maneiras.

1. O primeiro tema considerado foi a centralidade rodoviária. Foram utilizados dados georreferenciados de rodovias federais, estaduais e de outras que não se enquadram nestas categorias, construídos a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
2. O segundo tema considerado foi a centralidade telefônica. Neste caso, foram utilizados dados do fluxo de ligações telefônicas entre os municípios, a partir de dados da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).
3. O terceiro tema considerado foi a centralidade radiofônica. As bases de dados com informações acerca das emissoras de rádio e o seu alcance são disponibilizados pela Anatel e pelo Ministério das Comunicações.

O trabalho está dividido da seguinte forma. Após esta introdução, a seção 2 apresenta a teoria de redes complexas e as principais medidas de centralidade conhecidas, assim como as que serão usadas neste trabalho. Na seção 3, explica-se como foi construída cada uma das redes de relações entre os municípios e informam-se os resultados encontrados para estas redes. Na seção 4, apresenta-se a metodologia usada para criar um *ranking* de municípios a partir dos resultados encontrados para cada uma

das redes. Na seção 5, os resultados da aplicação desta metodologia são brevemente discutidos. Finalmente, na seção 6, expõem-se as conclusões deste trabalho.

2 TEORIA DE REDES COMPLEXAS E A DETERMINAÇÃO DA CENTRALIDADE

A teoria de redes complexas (ALBERT e BARABASI, 2002; BOCCALETTI *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2007) é uma subárea da física-estatística, pesquisa operacional e matemática capaz de modelar as redes presentes na natureza e na sociedade. No passado, a modelagem de redes era baseada principalmente em dois modelos: redes regulares e redes aleatórias. Enquanto rede regular é uma rede na qual todos os nós possuem o mesmo número de vizinhos (regularidade determinística), rede aleatória é aquela na qual a probabilidade de dois nós quaisquer serem conectados é constante (regularidade estocástica). A motivação para o desenvolvimento deste campo de estudo é a presença de redes na sociedade ou na natureza que não estão de acordo com as definições descritas.

Em geral, a ideia de uma rede pode ser sintetizada a partir da seguinte definição matemática: uma rede (grafo) constitui-se de um conjunto não vazio de elementos chamados vértices (ou nós) e uma lista de pares não ordenados destes elementos chamados arestas (ou conexões).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES

As redes podem ser classificadas conforme critérios que refletem diferentes aspectos da suas estruturas.

1. Direcionada ou não direcionada. Refere-se ao fato de as arestas expressarem ou não um sentido, relacionado, por exemplo, ao sentido do fluxo de informação.
2. Ponderada ou não ponderada. Indica se existe ou não um número que representa a importância associada a cada conexão entre os nós da rede. Nas redes não ponderadas, todas as conexões têm a mesma importância.
3. Esparsas ou densas. Redes esparsas possuem em cada vértice uma quantidade relativamente pequena de ligações, enquanto nas redes densas cada vértice se liga a uma parcela significativa do total de vértices. Uma característica frequente das redes densas é o número de ligações de cada vértice ser proporcional ao número total de vértices da rede. Nas redes esparsas, é comum que o número de vizinhos de cada vértice seja, aproximadamente, constante e independente do número total de vértices.
4. Conectadas ou não conectadas. No primeiro caso, não existem nós isolados ou mais de um *cluster*¹ na rede, ou seja, toda a rede é conectada em um grande *cluster*. No segundo caso, existe mais de um *cluster* na rede, e este fato indica a existência de nós isolados na rede. O procedimento mais comum para analisar uma rede com vários *clusters* é examinar apenas o maior *cluster* da rede e suas

1. Um *cluster* é um conglomerado de nós em que todos os nós estão conectados.

propriedades. Contudo, este procedimento normalmente é adotado quando se está interessado em propriedades agregadas da rede. No caso deste trabalho, tal procedimento não faz sentido, porque há interesse em características individuais dos nós. Algumas alternativas a considerar apenas o maior dos conglomerados são:

- a) desprezar o fato de que a rede tem vários *clusters* ou até nós totalmente desconectados e estudar suas propriedades. Este procedimento é muito útil em várias situações (CAJUEIRO e TABAK, 2008), mas deve ser aplicado com cautela, pois muitas medidas usadas para caracterizar uma rede são feitas a partir da noção de distância, discutida mais cuidadosamente na subseção 2.3. Se um nó não é conectado a nenhum outro nó da rede, ou se existe mais de um *cluster*, algumas maneiras de se avaliarem as distâncias podem levar a valores infinitos, sem utilidade para os fins deste estudo;
 - b) no caso de vários *clusters* pré-definidos, pode-se separar a rede por *clusters*, criando-se várias redes diferentes; e
 - c) uma mistura dos casos *a* e *b*, nos quais, mesmo se definindo previamente os *clusters*, ainda assim aparecem nós desconectados.
5. Dinâmica ou estática. A rede é dinâmica se evolui ao longo do tempo, ou seja, as conexões são diferentes em instantes diferentes. Caso contrário, a rede é estática.

2.2 REPRESENTAÇÃO DE UMA REDE

Se uma rede é não ponderada, normalmente é representada pela matriz de adjacência, que é uma matriz quadrada booleana A de ordem n (número de nós)

$$A = [a_{ij}],$$

onde $a_{ij} = 1$ se existir uma conexão que sai de i e vai para j e $a_{ij} = 0$ em caso contrário.

Caso a rede seja ponderada, ela é usualmente representada pela matriz de pesos, que é uma matriz quadrada real W de ordem n (número de nós)

$$W = [w_{ij}],$$

onde w_{ij} é a força da conexão que sai de i e vai para j (o peso) e $w_{ij} = 0$ quando esta conexão não existe.

As matrizes são simétricas se e somente se as redes representadas por estas matrizes forem não direcionadas. Esta definição é válida tanto para redes ponderadas quanto para não ponderadas. Se a matriz for não ponderada e não direcionada, além de ser simétrica, será formada por zeros e uns.

É importante ficar claro que uma rede ponderada também pode ser representada por uma matriz de adjacência. Neste caso, supõe-se que $a_{ij} = 1$ quando $w_{ij} > 0$, e $a_{ij} = 0$ quando $w_{ij} = 0$. Esta simplificação também é feita quando os valores dos pesos das arestas são irrelevantes para um determinado estudo ou quando se deseja simplificar o problema. Tais procedimentos eram mais comuns quando a teoria de

redes complexas estava no início e muitas das abordagens usadas para o estudo de redes somente estavam definidas para o caso de redes não ponderadas.

2.3 DISTÂNCIA ENTRE NÓS

Um dos conceitos mais básicos utilizados na caracterização de redes é o conceito de distância entre dois nós, que mede o comprimento do caminho entre dois nós considerados. Em geral, existem vários caminhos possíveis entre dois nós, cada um deles passando por uma sequência diferente de nós intermediários. A distância dos nós é a menor distância entre todos os caminhos existentes entre estes dois nós.

Embora o conceito seja simples, a noção de distância entre nós pode variar de acordo com o tipo de rede que se está estudando.

1. Em redes não ponderadas (direcionadas ou não), a distância de um determinado caminho entre dois nós é o número de arestas pertencentes ao caminho.
2. Em redes não direcionadas e conectadas (ponderadas ou não), a distância entre dois nós é sempre finita, ou seja, é sempre possível chegar de um nó a outro por um caminho com um número finito de nós. Em redes direcionadas, mesmo que conectadas, nem sempre é possível chegar de um nó a outro, e algumas distâncias podem ser infinitas.
3. Em redes não conectadas, sempre existirá mais de um *cluster*, e a distância entre nós pertencentes a *clusters* diferentes será infinita.
4. Em redes geográficas ou espaciais a definição da distância entre dois nós se refere à distância entre dois pontos no plano (ou espaço tridimensional). Entretanto, isto não é verdade para todas as redes. Muitas vezes, uma rede é definida *a priori*, utilizando-se pesos, conforme apresentado na subseção 2.2. Por exemplo, ao se estudar uma rede dos empréstimos entre bancos, o tamanho do empréstimo não é uma distância, e sim um peso. A atribuição de distâncias ou pesos às arestas tem significados diferentes. Quando dois nós de uma rede estão ligados por uma aresta com maior peso, isto significa que eles são vizinhos mais próximos. Quando dois nós estão conectados por uma aresta com maior distância, deduz-se que estes vizinhos são vértices mais distantes. Portanto, existe em geral uma relação inversa entre distâncias e pesos – maior peso, menor distância. Caso seja necessário definir uma distância entre cada par de nós vizinhos, a associação é feita exogenamente, caso a caso.

Independentemente da rede em questão, a forma mais comum de se calcular a distância entre todos os nós de uma rede é baseada no algoritmo de Dijkstra (DIJKSTRA, 1959). O algoritmo é uma versão otimizada do algoritmo de programação dinâmica, capaz de resolver o problema do caminho mais curto (BERTSEKAS, 2001).

Resumidamente, a distância entre dois nós da rede é calculada a partir da matriz de adjacência da rede, no caso de uma rede não ponderada, ou a partir da matriz de pesos da rede, no caso de uma matriz ponderada.

2.4 CENTRALIDADE

O conceito de centralidade é muito importante neste trabalho. Quando se fala em centralidade de um nó, faz-se referência à posição do nó na rede. Afirmar que um nó é central significa que a partir deste nó pode-se atingir, sem dificuldades, outros nós da rede. Quanto maior a centralidade de um nó, mais facilmente pode-se atingir outros nós, ou maior é a quantidade de nós que pode ser atingida. Conforme será exposto, existem várias maneiras de se determinar a centralidade. Embora cada forma reflita uma característica especial da rede, em geral, as medidas de centralidade são correlacionadas (CAJUEIRO e TABAK, 2008).

As medidas de centralidade variam conceitual e operacionalmente. Se a mesma ideia de centralidade for usada para analisar duas redes, uma direcionada e outra não direcionada, a tradução matemática (a fórmula usada para calcular a centralidade) será diferente em cada caso.

Nas linhas seguintes, serão discutidas as principais formas de se calcular a centralidade, mas serão salientadas aquelas relevantes para o trabalho. Outras definições de centralidade podem ser encontradas em Costa *et al.* (2007), Cajueiro e Tabak (2008) e Kiss e Bichler (2008).

Nas subseções a seguir, considera-se que uma rede ou é representada pela matriz de adjacência $A = [a_{ij}]$, ou pela matriz de pesos $W = [w_{ij}]$.

2.4.1 Grau do nó e força do nó

A medida mais simples e menos informativa da centralidade de um nó é o grau do nó. De forma simples, ela é o número de arestas que saem do nó. Também é conhecida por *out-degree* (d_{out}). A medida também pode ser construída utilizando-se o número de arestas que chegam a este nó, sendo neste caso conhecida por *in-degree* (d_{in}).

Uma extensão para o caso ponderado é considerar, além do número de arestas que chegam ou saem de um nó, a importância das arestas. Neste caso, tem-se a *out-strength* (s_{out}) de um nó i , definida por

$$s_{out}(i) = \sum_j w_{ij}.$$

Analogamente, *in-strength* (s_{in}) é definida por:

$$s_{in}(i) = \sum_j w_{ji}.$$

Se a rede é não direcionada, consequentemente a sua matriz de pesos W é simétrica e, dessa forma, $s_{in} = s_{out}$. O mesmo ocorrerá com todas as medidas *in* e *out* a seguir.

2.4.2 Comprimento característico de um nó

Uma forma clássica de se calcular a centralidade de um nó é calcular a distância média de um nó a todos os outros nós da rede. Esta medida é chamada *comprimento característico de um nó* (WIENER, H., 1947). Quanto maior for o comprimento característico de um nó, menor será a sua centralidade.

É importante notar que essa medida só tem utilidade quando a rede é conectada, pois no caso de existirem mais de um *cluster* o comprimento característico de todos os nós é infinito.

2.4.3 Eficiência de um nó

A noção de eficiência de um nó foi introduzida por Latora e Marchiori (2001), com base na ideia de comunicação entre dois nós que não estejam, necessariamente, conectados na rede. Neste contexto, pode-se definir a chamada *out-efficiency* (ε_{out}) de um nó dada por:

$$0 \leq \varepsilon_{out}(i) = \frac{\sum_j 1/d_{ij}}{n-1} \leq 1.$$

A *in-efficiency* (ε_{in}) de um nó é dada por:

$$0 \leq \varepsilon_{in}(i) = \frac{\sum_j 1/d_{ji}}{n-1} \leq 1.$$

De acordo com essa definição, um nó é mais eficiente quando possui posição mais central na rede, uma vez que a distância dele aos outros nós da rede é menor. A eficiência possui duas vantagens em comparação ao comprimento característico de um nó: *i)* normalização entre 0 e 1 (assumindo que a menor distância entre dois nós da rede é 1, que é o caso de redes não ponderadas); e *ii)* validade tanto para redes conectadas quanto para redes não conectadas.²

2.4.4 Rank de página

O *rank* de página foi inicialmente desenvolvido por Brin e Page (1998), os fundadores do Google, para medir a importância de uma página na *world wide web* (*www*). O *rank* de página é definido como:

$$C_{PR}(i) = (1-f) + f \sum_j \frac{C_{PR}(j)}{d_{out}(j)},$$

onde d_{out} é o *out-degree*; $0 \leq f < 1$; e a soma é feita sobre os nós da rede que apontam para o nó j . Sabendo-se que $0 \leq f < 1$, o sistema é uma contração e pode ser resolvido, explicitamente, por iterações até que a solução convirja para um ponto

2. Note-se que, no caso de uma rede não conectada, o comprimento característico dos nós é infinito, o que não ocorre com a medida de eficiência.

fixo.³ Assim, o *rank* de uma página mede a importância de uma página da *www* em função da importância das outras páginas que apontam para ela.

Pela maneira como funcionam as conexões entre as páginas da *www*, se uma página é apontada por uma página muito acessada, então existe mais chances de os visitantes da segunda página acabarem visitando a primeira. Por isso, ela tem mais chance de ser também bastante acessada. Esta é a ideia básica da medida de centralidade conhecida como *rank* de página.

2.4.5 Poder de dominância

A medida conhecida como poder de dominância foi introduzida em VanDenBrink e Gilles (2000). Pode ser interpretada da seguinte forma: considere-se um conjunto de agentes econômicos que estão engajados em algum processo de comercialização. O fato de o agente *i* dominar o agente *j* pode ser interpretado de forma que o agente *i* estruture as condições sob as quais o comércio entre os agentes *i* e *j* irá ocorrer. Embora esta seja uma medida que considera as direções na rede, o poder de dominância normalmente é escrito no formato *out*:

$$\beta(i) = \sum_j \frac{w_{ij}}{s_{in}(j)}.$$

Na prática, o poder de dominância é a soma que representa a importância de um nó para todos os seus vizinhos, normalizada pela importância de todos os outros nós da rede para estes vizinhos. A medida fornecida pelo poder de dominância é criticada por ter em conta apenas iterações de primeira ordem. Ela não reflete o fato de que os efeitos do controle de um agente sobre seus vizinhos podem se propagar por meio do controle que estes vizinhos executam, por sua vez, sobre os seus respectivos vizinhos.

2.4.6 Poder de difusão

Uma contribuição explícita deste trabalho é a extensão da noção apresentada pelo poder de dominância (subseção 2.4.5) utilizando-se uma ideia similar ao *rank* de página (subseção 2.4.4). Denominou-se esta extensão *poder de difusão*, calculado da seguinte forma:

$$D(i) = \frac{w_{ii}}{s_{in}(i)} + \sum_{j \neq i} \frac{(1 + fD(j))w_{ij}}{s_{in}(j)},$$

onde $0 \leq f < 1$.

A primeira parte, $w_{ii}/s_{in}(i)$, mede a difusão dentro do próprio nó – por exemplo, considere-se que o nó é uma cidade. O termo restante é bastante similar ao apresentado pelo poder de dominância. A diferença principal é que aqui se

3. É válido tecerem-se alguns comentários técnicos. Para um $X \subset \mathbb{R}^m$, uma aplicação $f: X \rightarrow \mathbb{R}^n$ é uma contração quando existem $\lambda \in \mathbb{R}, 0 \leq \lambda < 1$, e normas em $\mathbb{R}^m$ e $\mathbb{R}^n$, relativamente às quais se tem $\|f(x) - f(y)\| \leq \lambda \|x - y\|$ para quaisquer $x, y \in X$. Um ponto fixo de uma aplicação $f: X \rightarrow \mathbb{R}^m$ ($X \subset \mathbb{R}^m$) é um ponto $x \in X$ tal que $f(x) = x$. Para detalhes, veja, por exemplo, Kreyszig (1989) ou Lima (2005).

consideram difusões de ordem mais altas, assim como no caso do *rank* de página. Uma vantagem compartilhada pelo *rank* de página e pelo poder de dominância é que, mesmo considerando iterações de ordem mais alta, estas medidas não usam a distância. Pode não ser trivial definir o que é distância em redes espaciais.

Embora calcular o poder de difusão envolva resolver um sistema linear, isto pode ser feito por um processo iterativo. Sabendo que $0 \leq f < 1$, como no caso do *rank* de página, o sistema constitui uma contração e pode ser resolvido, explicitamente, por iterações, e a solução irá convergir para um ponto fixo.⁴

3 REDES DE MUNICÍPIOS

Com o objetivo de se estudarem aspectos diferentes de interação entre municípios, construíram-se três redes cujos nós são os municípios brasileiros. As conexões entre os nós das redes representam diferentes canais pelos quais a informação, ou outro tipo de influência, pode difundir-se entre os nós. As redes construídas foram:

- rede de rodovias;
- rede de telefonia; e
- rede de rádio.

Nas próximas subseções, serão discutidos o modo como estas redes foram construídas, as suas limitações, o cálculo da centralidade e os resultados encontrados.

3.1 REDES RODOVIÁRIAS

As rodovias são o principal canal de transporte de carga e passageiros no Brasil. Com exceção de algumas áreas isoladas, principalmente na região amazônica, a maior parte das cargas e dos passageiros chegam e partem de um município em direção a outro pelas rodovias. Por este motivo, espera-se que os municípios mais bem conectados a outros municípios, por meio de rodovias, possuam maior poder de influência.

Existem dois mecanismos pelos quais o poder de influência se relaciona com a malha viária. Primeiramente, a maior facilidade no fluxo de pessoas e produtos permite aos municípios mais bem conectados irradiarem mais efetivamente sua influência. Em segundo lugar, a construção de rodovias, em geral, visa atender a demanda de transporte, que tende a ser maior nos municípios mais importantes. Assim, a rede rodoviária pode ser tanto uma causa quanto uma consequência da capacidade de difusão de um determinado município.

Utilizaram-se neste estudo informações georreferenciadas de rodovias federais, estaduais e de outras que não se enquadram nestas categorias. Estas informações são organizadas por empresas como a Gismaps (www.gismaps.com.br), a partir de dados de órgãos como o IBGE. Um exemplo pode ser visto na figura 1. Cada rodovia é descrita não só por seu traçado no território brasileiro, mas também por um banco de dados que armazena informações do nome, da pavimentação, do número de vias etc.

4. Cf. nota de rodapé número 3.

É necessário um sistema de informação geográfica (SIG) para que as informações sejam extraídas e utilizadas na construção da rede.

FIGURA 1

Mapa das rodovias brasileiras, com as rodovias pavimentadas em azul e as não pavimentadas em marrom¹



Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Para visualização em cores, consulte <www.ipea.gov.br/publicações>.

3.1.1 Construção da rede rodoviária

A ideia da construção da rede complexa, a partir da malha rodoviária, é evidente: se duas cidades estão ligadas por uma rodovia, os nós que representam estas cidades devem estar conectados na rede complexa obtida. No entanto, há vários aspectos envolvidos no processo de construção que precisam ser detalhadamente discutidos.

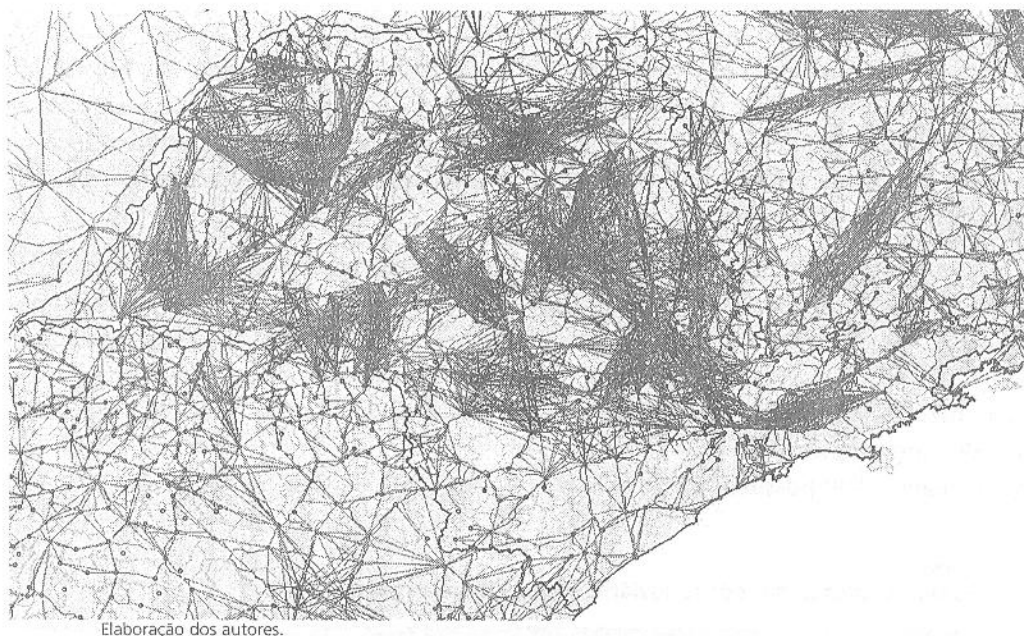
1. Comprimento das arestas. Existem redes em que todas as arestas são consideradas como tendo o mesmo comprimento. Não é o caso das redes rodoviárias, visto que existe uma clara relação entre a distância rodoviária de duas cidades e sua influência mútua. Por este motivo, serão utilizados algoritmos para encontrar o menor caminho entre os pares de municípios. O comprimento do menor caminho será considerado o comprimento da aresta correspondente.

2. Pavimentação. O tempo de viagem, os gastos com manutenção e combustível e as condições de transporte dos passageiros e das cargas são significativamente melhores em vias pavimentadas do que em vias não pavimentadas. Em vista disso, foram penalizadas as rodovias não pavimentadas, multiplicando-se por dois a distância percorrida nelas quando do cálculo da distância total do trajeto. Quando dois trajetos são semelhantes, exceto por serem ou não pavimentados, o trecho não pavimentado só será escolhido se o seu comprimento for menos da metade do comprimento do trecho pavimentado. Esta penalização reflete-se também no comprimento do vértice obtido.
3. Conexões com a malha. A malha municipal nem sempre se conecta corretamente aos pontos que representam a localização das cidades. Algumas vezes a ligação da cidade ocorre por uma via urbana que não consta no mapa. Outras vezes imprecisões no mapa não posicionam a rodovia sobre a cidade e, por este motivo, no mapa que foi utilizado, do total de 5.534 municípios, 893 não estão conectados com nenhuma rodovia. Para contornar este problema, permitiu-se que cada município se ligue a pelo menos uma estrada, pavimentada ou não, caso ela se encontre a menos de 5 km. Com este procedimento, o número de municípios sem conexão com a malha rodoviária cai de 893 para 282.
4. Composição de percursos. A partir de um determinado município pode-se alcançar todos os outros municípios pertencentes a uma determinada malha. Todavia, se a viagem do município A ao município C exige que se passe pelo município B, então deve haver arestas entre A e B e entre B e C, mas não entre A e C. Por isso, uma aresta entre duas cidades somente é aceita se não existe nenhuma outra cidade no trajeto entre as duas.
5. Seleção dos vizinhos. Diante da impossibilidade computacional de se utilizar um SIG para explorarem-se os caminhos mínimos entre todos os possíveis pares de cidade brasileiras, optou-se pelo esquema aqui descrito. Para cada cidade, calcula-se a sua distância geográfica em relação a todas as outras cidades brasileiras, usando-se a latitude e a longitude. Ao se ordenarem estas distâncias, obtém-se uma lista que vai da cidade mais próxima à mais distante dentro do território nacional. Estas duas operações demandam muito pouco tempo de processamento. Varre-se a lista até a n -ésima cidade e selecionam-se as arestas que satisfazem a condição relativa à composição dos percursos. A varredura dos primeiros cinquenta municípios vizinhos encontrou 15.209 arestas, enquanto a varredura dos cinquenta vizinhos seguintes encontrou 1.909 arestas, e a dos cinquenta subsequentes, 899 arestas.

Cabe ressaltar que essa metodologia é inovadora. Tanto quanto se saiba, o único trabalho que já estudou rodovias é o de Gastner e Newman (2006), o qual era focado nas rodovias interestaduais.

O resultado da aplicação dessa metodologia pode ser visto na figura 2. Ressalte-se que a maior parte das grandes rodovias do estado de São Paulo não corta qualquer município. Portanto, os trajetos que passam por elas não consideram os municípios às suas margens como pertencentes ao trajeto. Por este motivo, as cidades ligadas diretamente a estas rodovias aparecem conectadas a um número excessivo de outras cidades.

FIGURA 2

Rede rodoviária do estado de São Paulo

Elaboração dos autores.

3.1.2 Limitações

Um ponto a ser realçado é que, embora a centralidade rodoviária seja provavelmente influenciada pela centralidade geográfica, esta restrição não deve atrapalhar o propósito de identificar os municípios com maior poder de difusão. De fato, o objetivo é identificar os municípios com maior poder de difusão dentro das microrregiões definidas pelo IBGE. Uma vez que os municípios dentro das microrregiões possuem centralidades geográficas próximas, o efeito da centralidade rodoviária em todos os municípios de uma mesma região é similar.

Em algumas regiões, como a Amazônia, o transporte fluvial pode ter influência muito maior que o transporte rodoviário. Infelizmente, não existem informações sobre transportes fluviais capazes de permitirem a construção de redes equivalentes. Assim, a classificação rodoviária utilizada nestas regiões pode não expressar com precisão a capacidade de difusão dos municípios referente ao transporte de passageiros e de carga.

3.1.3 Medida de centralidade para a rede rodoviária

A rede rodoviária é uma rede ponderada com a distância dada endogenamente pela distância geográfica das cidades envolvidas na rede. A medida de centralidade utilizada foi a de eficiência apresentada na subseção 2.4.3.

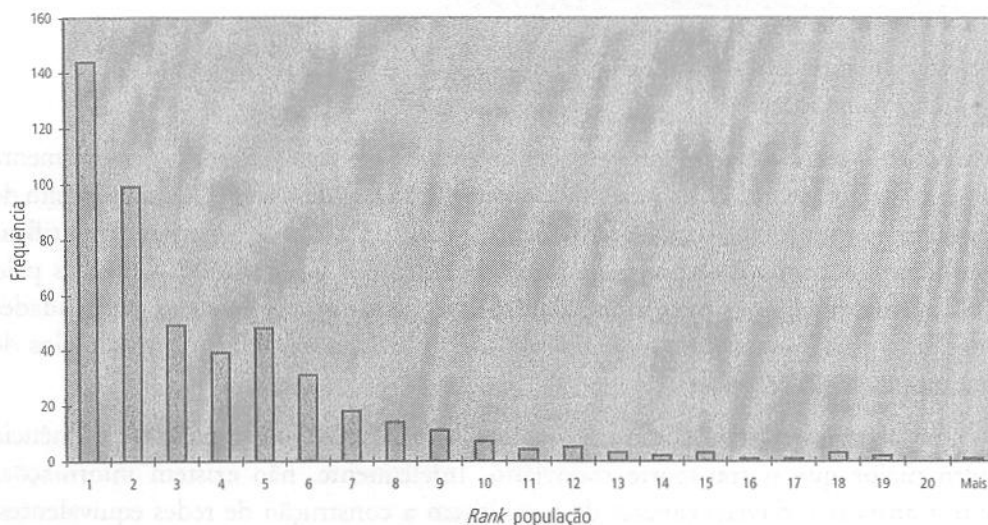
3.1.4 Análise dos resultados

Utilizando o índice de centralidade apresentado na subseção 3.1.3, construiu-se o *ranking* de municípios com maior centralidade rodoviária, em cada microrregião. Uma questão interessante é como se podem explicar os resultados encontrados para a rede rodoviária. Os gráficos 1 e 2 mostram que os municípios mais populosos e com maiores produtos internos brutos (PIB) *per capita* tendem a ser os municípios mais centrais em suas respectivas microrregiões.

O gráfico 1 apresenta a frequência com que os municípios de maior centralidade rodoviária estão correlacionados com a população. A leitura que se faz do histograma pode ser descrita da seguinte forma: em cada microrregião foi selecionado o município com a maior centralidade. Além disso, todos os municípios, dentro de cada microrregião, foram ordenados segundo sua população. O gráfico 1 informa que, dos municípios com maior poder de difusão, 140 possuem a maior população da microrregião, 100 possuem a segunda maior população, e assim sucessivamente.

GRÁFICO 1

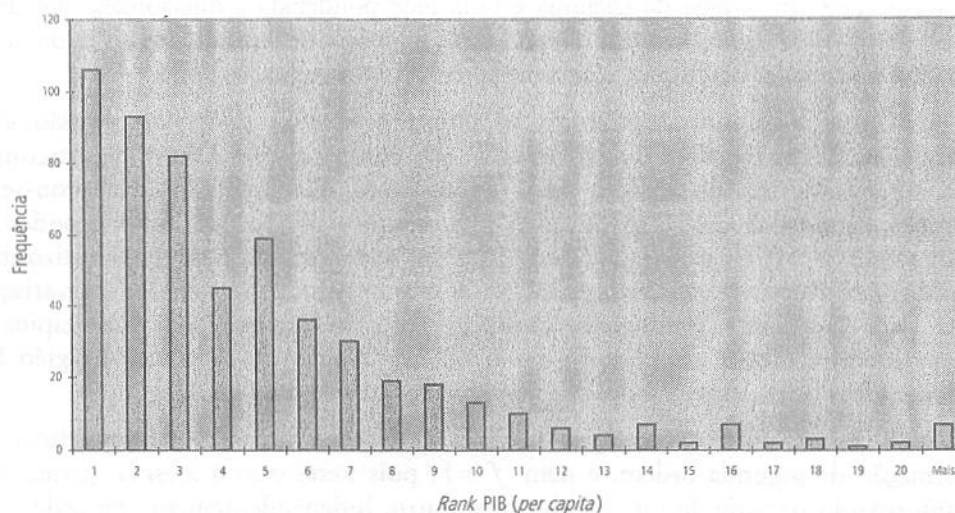
Poder de difusão da rede rodoviária *versus* tamanho populacional



Elaboração dos autores.

A mesma leitura do gráfico 1 pode ser aplicada ao gráfico 2, porém relacionando-se a maior centralidade com o PIB *per capita*. A frequência é um pouco mais suave quando comparada ao gráfico 1; porém, ainda assim indica uma alta correlação entre os municípios mais centrais na rede rodoviária e os municípios de maior PIB *per capita*.

GRÁFICO 2

Poder de difusão da rede rodoviária *versus* PIB *per capita*

Elaboração dos autores.

3.2 REDE DE TELEFONIA

Uma rede telefônica de municípios onde estão localizadas as casas legislativas é outra forma de abordar a habilidade de difusão. Como nos casos anteriores, a ideia de se estudarem redes de telefonia é recente (AIELLO *et al.*, 2000; NANAVATI *et al.*, 2006; ONNELA *et al.*, 2007) e está em um contexto totalmente diferente do apresentado aqui. Obviamente, municípios que fazem ou recebem um maior número de ligações têm um maior poder de difusão.

3.2.1 Construção da rede de telefonia

A Anatel, por um ofício, solicitou às concessionárias de telefonia fixa o envio de um arquivo com as informações sobre o número de chamadas realizadas e o número de minutos cursados em setembro de 2008 entre duas localidades.⁵

Embora os dados permitam a construção de uma rede direcionada e ponderada, optou-se por construir uma rede apenas ponderada, em que o peso w_{ij} da aresta localizada entre as cidades i e j foi a soma do número de ligações com origem na cidade i para a cidade j e do número de ligações com origem na cidade j para a cidade i . A decisão foi baseada no fato de a informação fluir em ambas as direções, embora apenas uma das cidades pague a ligação telefônica. Também se decidiu que a rede mais interessante seria a construída apenas com os dados relativos ao número de chamadas. De fato, uma chamada que dura mais tempo não é, necessariamente, uma chamada mais importante. Muitas vezes, informações importantes podem ser transmitidas em poucos minutos.

5. O conceito de localidade está definido pela Anatel no anexo 1 da Resolução nº 373/2004. Os dados de localidades foram agregados a fim de se ter uma base com o número de ligações entre os municípios. Localidade, de acordo com o conceito da resolução citada, é "toda parcela circunscrita do território nacional que possua um aglomerado permanente de habitantes".

3.2.2 Medida de centralidade

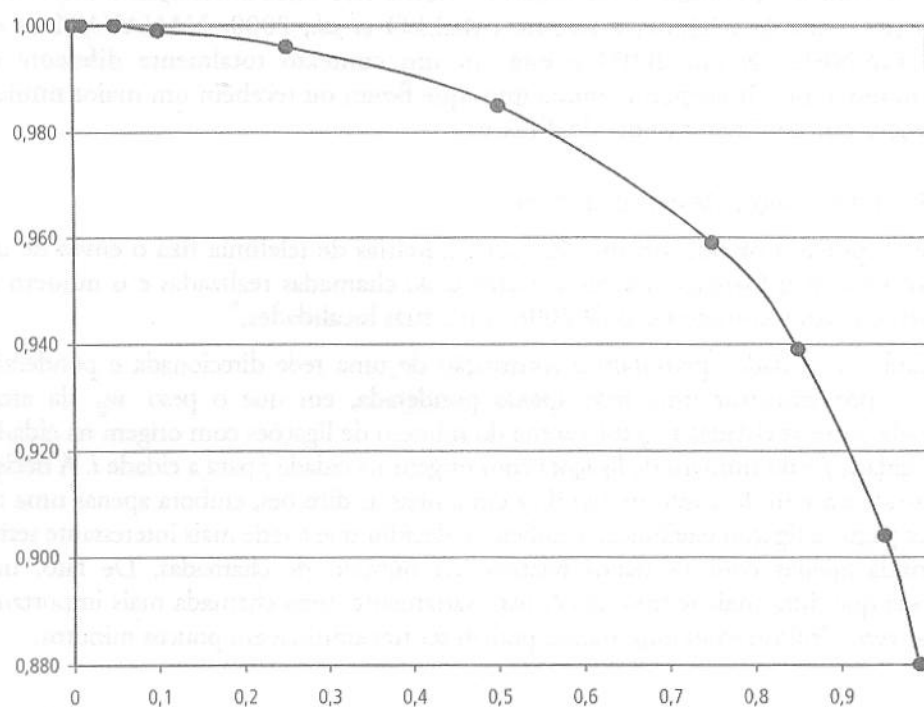
Conforme descrito, a rede de telefonia é uma rede ponderada e direcionada que deve incluir iterações de segunda ordem. Dessa forma, a medida de centralidade utilizada neste caso deve ser o poder de difusão, conforme apresentado na subseção 2.4.6.

Um ponto importante quando se utiliza a medida poder de difusão é a necessidade de se escolher o parâmetro f , que funciona como fator de desconto. Para entender a influência deste fator de desconto nos resultados, elaborou-se o gráfico 3, cuja ordenada é o coeficiente de correlação de Spearman⁶ entre o poder de difusão com $f = 0$ e o poder de difusão para um dado f , e a abscissa (eixo horizontal) é o fator f correspondente. De acordo com o que se percebe no gráfico 3, a variação deste fator é pequena, tendo pouca influência no *ranking* geral dos municípios e, provavelmente, menor ainda se apenas o *ranking* dentro de cada microrregião for considerado. Assim, os resultados são pouco influenciados pela escolha de f .

Não parece correto usar $f = 0$, visto que neste caso não haveria fluxo de informação de segunda ordem, e nem $f = 1$, pois neste caso a mesma quantidade de informação passaria de um vizinho para outro, independentemente da ordem da vizinhança. Por isso, utiliza-se neste trabalho o valor intermediário $f = 0,5$.

GRÁFICO 3

Coeficiente de correlação de Spearman do poder de difusão com $f = 0$ e do poder de difusão com f diferente de zero



Elaboração dos autores.

6. Foi utilizado o coeficiente de Spearman em lugar do coeficiente de correlação de Pearson, pois neste trabalho o interesse está na correlação entre os *rankings* gerados pelo poder de difusão, e não nos valores de fato.

3.2.3 Limitações

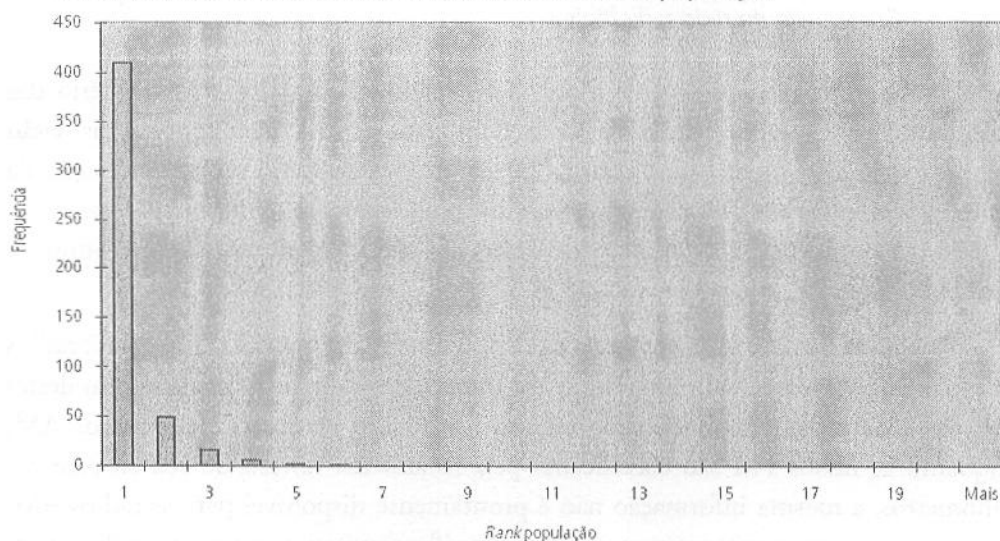
Não foram encontradas grandes limitações nos dados de telefonia, pois as informações fornecidas pela Anatel atenderam integralmente o estudo proposto.

3.2.4 Análise dos resultados

De acordo com a metodologia apresentada na seção 3.2.2, confeccionou-se o *ranking* de municípios com maior centralidade telefônica. A explicação para a centralidade dos municípios, assim como para o caso da rede rodoviária, pode ser encontrada nos gráficos 4 e 5.

GRÁFICO 4

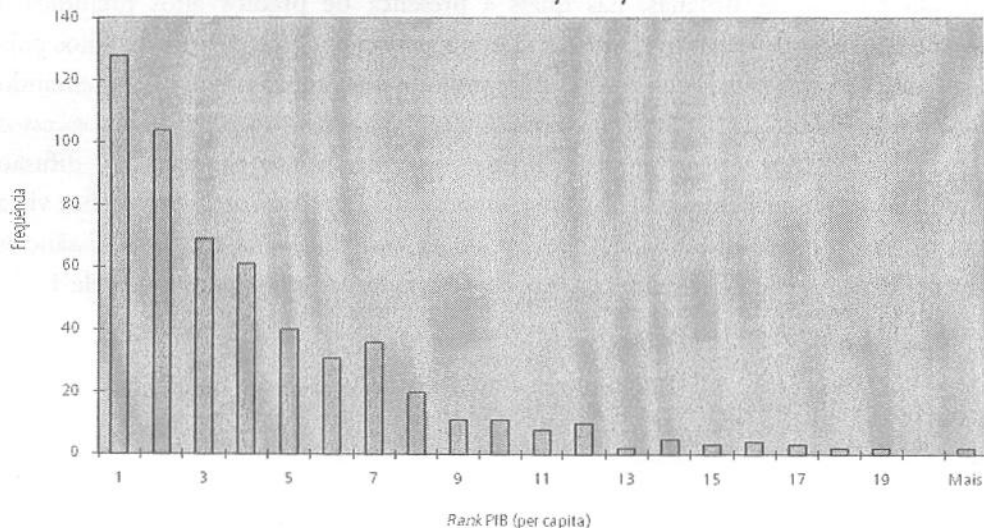
Poder de difusão da rede telefônica *versus* tamanho da população



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 5

Poder de difusão da rede telefônica *versus* PIB *per capita*



Elaboração dos autores.

3.3 REDE DE RÁDIO

Abordar a rede radiofônica é uma ideia totalmente nova para se aferir a habilidade de difusão de um município. No Brasil, o rádio possui um papel fundamental na disseminação de informação entre regiões vizinhas. Uma estação de rádio, em geral, transmite informações sobre o município onde está localizada a estação emissora; em particular, informações sobre cultura e eventos, noticiários, debates políticos, problemas relacionados aos municípios, novidades de órgãos públicos etc.

Dessa forma, municípios com maior número de estações de rádio de grande alcance são provavelmente mais conhecidos e difundem mais informação que municípios com menos estações de rádio ou estações de rádio com menor potência.

3.3.1 Construção da rede radiofônica

A rede radiofônica foi construída a partir de dados da Anatel e do Ministério das Comunicações. A rede é direcionada e ponderada. Nela, dois municípios serão conectados se pelo menos uma estação de um deles alcançar o outro. A direção da conexão será utilizada para indicar o município emissor e o município receptor. O peso das conexões é o número de rádios do município emissor que atinge o município receptor.

Na página da Anatel na internet, é possível obter informações sobre 7.102 rádios de FM e 2.200 rádios AM. Uma diferença importante sobre o funcionamento destes dois tipos de rádio é a dificuldade técnica no cálculo do alcance das rádios AM. Enquanto as rádios FM são classificadas pela Anatel em função do seu alcance em quilômetros, a mesma informação não é prontamente disponível para as rádios AM. Este motivo, juntamente com o número significativamente maior de rádios FM, levou à construção da rede de rádio incluindo apenas as rádios FM.

O alcance das redes de rádios utilizado pela Anatel para a divisão em categorias é calculado para zonas urbanas, nas quais a presença de prédios altos prejudica a recepção de sinais de baixa intensidade. Em zonas rurais, é possível ouvir rádios cuja intensidade de sinal estaria abaixo do limite mínimo para zonas urbanas, aumentando o alcance das rádios nas zonas rurais. Prédios altos não estão presentes ou são escassos na maior parte dos municípios brasileiros, que, do ponto de vista da difusão radiofônica, são mais bem descritos como zona rural que como zona urbana. Em vista disso, optou-se por utilizar os alcances rurais na construção da rede. As distâncias correspondentes a cada classe nas zonas urbanas e rurais são mostradas na tabela 1.

TABELA 1

Alcance das classes de rádio FM para áreas urbanas e rurais¹

Classes	Requisitos máximos			
	Potência (ERP)		Distância máxima ao contorno (km)	
	kW	dBk	Área urbana (2mV/m)	Área Rural (0,5 mV/m)
E1	100	20	78	109
E2	75	18,8	66	96
E3	60	17,8	54	81
A1	50	17	40	63
A2	30	14,8	36	58
A3	15	11,8	31	51
A4	5	7	24	42
B1	3	4,8	16	30
B2	1	0	12	24
C	0,3	-5,2	7	15

Fonte: Anatel.

Nota: ¹ Os valores para as regiões urbanas estão disponíveis na página eletrônica da Anatel. Os valores para as áreas rurais foram fornecidos por Thiago Aguiar Soares, funcionário da Anatel.

A figura 3 apresenta a rede de rádio obtida. Para evitar a poluição visual, o mapa não apresenta a direção nem o peso das conexões. Os pontos da figura 3 representam a sede dos municípios, e as fronteiras das microrregiões são mostradas em cinza.

FIGURA 3

Redes de rádios para os municípios brasileiros¹

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Para visualização em cores, consulte <www.ipea.gov.br/publicações>.

3.3.2 Limitações

Uma limitação desses dados consiste na determinação dos municípios atingidos por determinada rádio. A Anatel classifica as rádios em categorias em função do seu alcance médio. Além de retratarem apenas um alcance médio e não o alcance em cada direção de propagação, a divisão em categorias implica a perda da medida exata do alcance. Por sua vez, neste trabalho, o que determina se um município é alcançado por outro é se a sede deste município, na posição definida pelo IBGE, está dentro do raio de alcance da rádio. Como resultado, alguns municípios podem ser considerados não conectados mesmo que boa parte de sua população esteja no alcance de determinada rádio, e vice-versa.

Um fenômeno endógeno detectado foi o grande número de municípios com estações de rádios que não alcançam outros municípios. Isto não parece ser uma limitação, mas uma consequência das decisões dos responsáveis por esta atividade no município. Por exemplo, se um empresário de rádio acredita que sua estação será de interesse de outro município, então, *a priori*, ele também teria interesse em gerenciar uma estação de rádio com maior potência, pois isto poderia significar mais lucros com propagandas e comerciais.

Nas regiões onde a densidade populacional é baixa e não existem estações de rádios que alcancem outros municípios, não existe rede de rádios. Desta forma, a rede de rádios não pode ser utilizada como um critério de classificação dentro destas regiões.

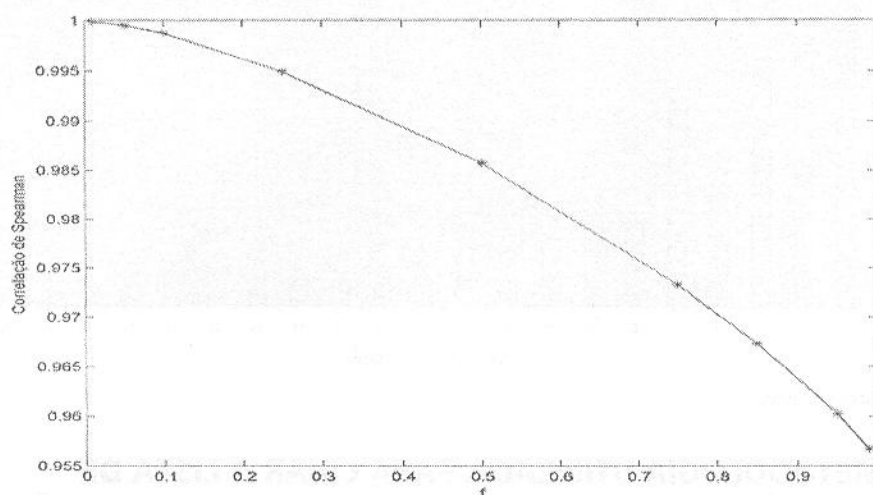
3.3.3 Medida de centralidade

A rede radiofônica é uma rede direcionada e ponderada. Entretanto, uma vez que a distância entre dois nós não surge endogenamente da rede, medir centralidade, utilizando o poder de difusão proposto na subseção 2.4.6, parece ser a melhor escolha.

Neste caso, a discussão apresentada na subseção 3.2.2 sobre a escolha do parâmetro f , exógeno, faz-se necessário para o cálculo do poder de difusão. No gráfico 6, apresenta-se o coeficiente de correlação de Spearman do poder de difusão com $f = 0$ e do poder de difusão *versus* o f apresentado na abscissa. Nota-se, no caso das redes radiofônicas, uma variação menor ainda do *ranking* dos municípios em função da variação do parâmetro f . Pelos mesmos motivos expostos na subseção 3.2.2, será utilizado $f=0.5$.

GRÁFICO 6

Coefficiente de correlação de Spearman do poder de difusão com $f = 0$ e do poder de difusão com f diferente de zero



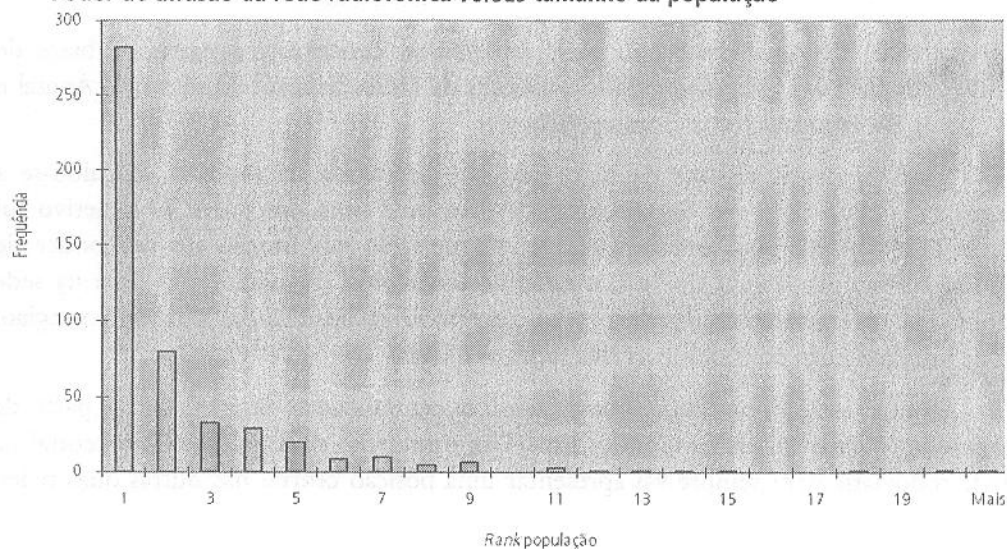
Elaboração dos autores.

3.3.4 Análise dos resultados

Na análise das redes de rádios, quando uma região possui uma rede, é quase sempre possível encontrar uma cidade que aparenta ser o pólo difusor principal. Utilizando-se a metodologia apresentada na subseção 3.3.3, confeccionou-se o *ranking* de municípios com maior centralidade radiofônica. A rede de rádios não foge ao padrão encontrado nas redes anteriores e, como mostram os gráficos 7 e 8, a população e o PIB *per capita* podem explicar os resultados encontrados.

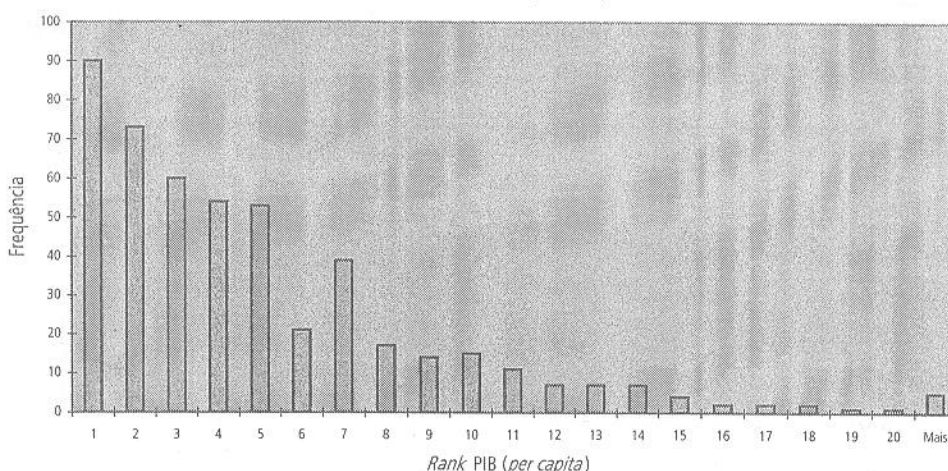
GRÁFICO 7

Poder de difusão da rede radiofônica *versus* tamanho da população



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 8

Poder de difusão da rede radiofônica *versus* PIB *per capita*

Elaboração dos autores.

4 METODOLOGIA UTILIZADA PARA CRIAR A LISTA DE MUNICÍPIOS POR ORDEM DE PODER DE DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO⁷

Na seção 3, apresentou-se a metodologia utilizada para calcular a centralidade de cada município de três redes que representam dimensões diferentes de interações entre os municípios:

- a) rede construída a partir de dados georreferenciados de rodovias federais, estaduais e de outras que não se enquadram nestas categorias, a partir de dados do IBGE. Esta foi denominada *centralidade rodoviária dos municípios*;
- b) rede construída a partir de dados fornecidos pela Anatel acerca de ligações telefônicas entre dois municípios; tal rede foi denominada *centralidade telefônica*; e
- c) rede, denominada *centralidade radiofônica*, construída a partir de bases de dados com informações das emissoras de rádio disponibilizadas pela Anatel e pelo Ministério das Comunicações.

A partir dessas redes e da metodologia apresentada na seção 3, calculou-se a centralidade de cada um dos municípios para cada uma das redes. O objetivo foi ordenar os municípios dentro de cada microrregião em função do seu poder de difusão. Portanto, ainda que a centralidade tenha sido calculada com base na rede de todos os municípios do Brasil, foi necessário reclassificá-los por microrregião. Este ordenamento considerou as três redes avaliadas.

Uma questão importante é como fundir as centralidades, determinadas a partir de três redes diferentes, em uma única lista. Um município com uma posição central na rede rodoviária nem sempre vai apresentar uma posição central nas outras duas redes.

7. Os resultados dos três indicadores de centralidade e o seu *ranking* podem ser solicitados diretamente à Dirur do Ipea.

Isto acontece porque variáveis como tamanho da população, posição geográfica e posição de relevância no município vão influenciar o poder de centralidade nas redes.

O primeiro passo na caracterização dos municípios foi a criação de três listas, ordenadas por microrregião, para cada uma das redes criadas. Para cada município é atribuído um número de ordem que reflete a sua classificação dentro da microrregião. Na ocorrência de empate, todos os municípios envolvidos recebem o mesmo número de ordem, igual ao valor médio das posições ocupadas por eles na classificação dentro da microrregião.

O processo mais simples na construção dessa lista única seria calcular-se a média do número de ordem dos municípios das três redes. Entretanto, não se adotou tal procedimento, por considerá-lo pouco robusto. Por exemplo, considere-se um município muito bem classificado em duas redes e mal classificado na terceira. Caso fosse calculada a média, possivelmente este município não entraria em posição importante na listagem final. A proposta é calcular a média da classificação de cada município, utilizando apenas a ordem deste município nas duas listas nas quais obteve melhor colocação. O terceiro ordenamento é utilizado apenas como critério de desempate.

5 RANKING DOS MUNICÍPIOS POR PODER DE DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO

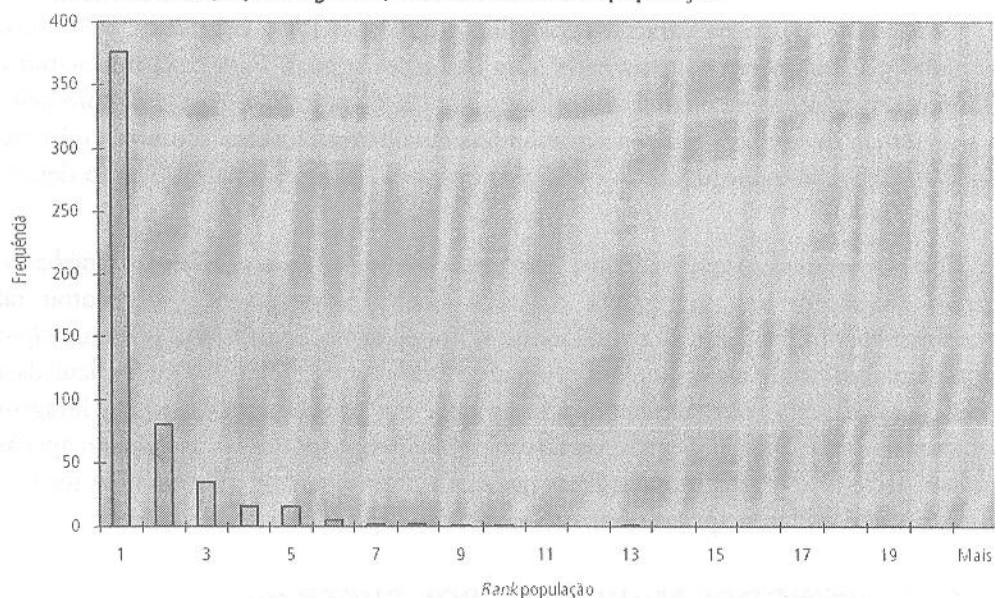
Utilizando a metodologia apresentada na seção 4, além dos resultados de centralidade de municípios apresentados na seção 3, construiu-se o *ranking* de municípios com maior capacidade de difusão de informações por microrregião.

Apenas a título de ilustração, citem-se algumas microrregiões. Na microrregião São Paulo, encontraram-se os três municípios mais importantes, na seguinte ordem: São Paulo, São Bernardo do Campo e Santo André. Na microrregião Rio de Janeiro, encontraram-se os três municípios mais importantes, nesta ordem: Rio de Janeiro, Niterói e Nova Iguaçu. Na microrregião de Salvador, encontraram-se os três municípios mais importantes, nesta ordem: Salvador, Lauro de Freitas e Simões Filho. Na microrregião de Porto Alegre, encontraram-se os três municípios mais importantes: Porto Alegre, Novo Hamburgo e São Leopoldo.

Conforme ocorreu anteriormente, também houve a preocupação de se buscar uma explicação para esses resultados. Os gráficos 9 e 10 mostram que os municípios mais populosos e com os maiores PIB *per capita* são aqueles que tiveram municípios mais centrais em suas respectivas microrregiões.

GRÁFICO 9

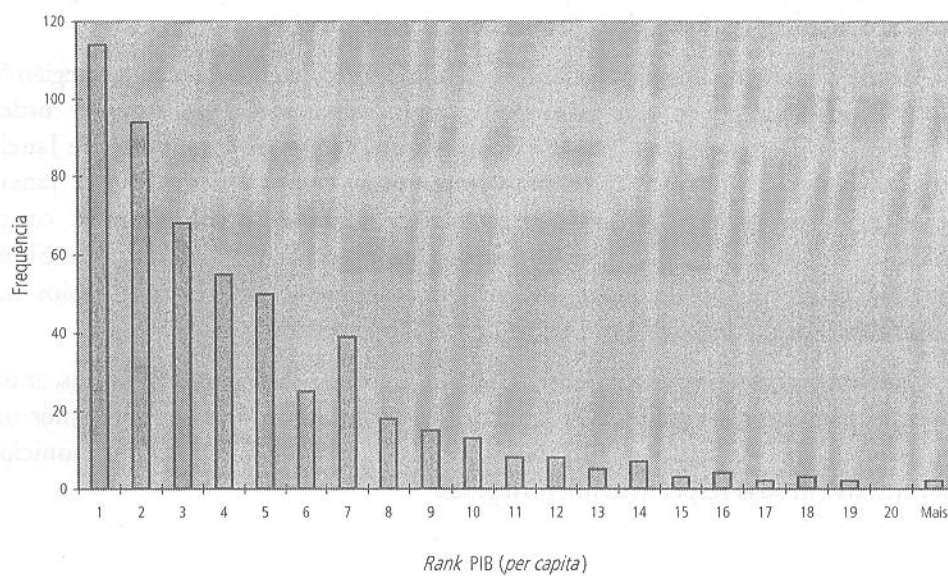
Poder de difusão (*ranking final*) versus tamanho da população



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 10

Poder de difusão (*ranking final*) versus PIB per capita



Elaboração dos autores.

6 CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma metodologia para identificar os municípios mais relevantes em termos do poder de disseminação de informação, usando uma abordagem baseada na teoria de redes complexas.

Foram construídas três redes de municípios: uma para explorar o tema de centralidade rodoviária, outra para explorar o tema de centralidade telefônica e uma para explorar centralidade radiofônica. Conforme exposto ao longo do trabalho, todas as dimensões são bastante originais, considerando o patamar em que se encontra o assunto na literatura internacional. Para cada rede, calculou-se a centralidade dos municípios usando medidas de centralidade adequadas. Fundiram-se estes índices de centralidade para encontrar-se um *ranking* único por microrregião. Finalmente, mostrou-se que este *ranking* pode ser explicado por população e PIB *per capita* de uma microrregião.

A análise detalhada do ordenamento dos municípios dentro de uma amostra das microrregiões permite concluir que o resultado é coerente com o conhecimento subjetivo da importância dos municípios nas microrregiões amostradas.

REFERÊNCIAS

- AIELLO, W.; CHUNG, F.; LU, L. A random graph model for massive graphs. In: *Proceedings of the thirty-second annual ACM Symposium on Theory of Computing*, New York: pp. 171-180, 2000.
- ALBERT, R.; BARABASI, A. L. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, n. 74, p. 47-97, January, 2002.
- BERTSEKAS, D. P. *Dynamic programming and optimal control*. Athena Scientific, v. 2, Belmont, 2001.
- BOCCALETTI, S. *et al.* Complex network: structure and dynamics. *Physics Reports*, v. 424. p. 175-308, February, 2006.
- BRIN, S.; PAGE, L. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. In: *Seventh International World-Wide Web Conference*. Australia: Brisbane, 1998.
- CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M. The role of banks in the Brazilian interbank market: Does bank type matter? *Physica A*, v. 387, p. 6825-6836, 2008.
- COSTA, L. D. *et al.* Characterization of complex networks: a survey of measurements. *Advances in Physics*, v. 56, p. 167-242, 2007.
- DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, v. 1, p. 269-271, December, 1959.
- GASTNER, M. T.; NEWMAN, M. E. J. The spatial structure of networks. *European Physical Journal B*, n. 49, p. 247, 2006.
- KISS, C.; BICHLER, M. Identification of influencers: measuring influence in customer networks. Forthcoming in *Decision Support Systems*, 2008.
- KREYSZIG, E. *Introductory Functional Analysis with Applications*. Wiley, 1989.
- LATORA, V.; MARCHIORI, M. Efficient behavior of small world networks, *Physical Review Letters*, n. 87: 198/701, 2001.
- LIMA, E. L. *Curso de análise: volume 2*. Editora do IMPA - CNPq, Rio de Janeiro, 2005.
- NANAVATI, A. *et al.* On the structural properties of massive telecom call graphs: findings and implications. In: *Proceedings of the 15th ACM international conference on Information, CIKM 06*, New York, p. 435-444, 2006.

ONNELA, J. P. *et al.* Structure and tie strengths in mobile communication networks. *In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.104, p. 7332-7336. 2007.

VANDENBRINK, R.; GILLES, R. P. Measuring domination in directed networks. *Social Networks*, v. 22, p. 141-157, 2000.

WIENER, H. Structural determination of paraffin boiling points. *Journal of the American Chemistry Society*, v. 69, n.1, p. 17-20, 1947.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FOWLER, J. H. Connecting the congress: a study of cosponsorship networks. *Political Analysis*, v. 14, p. 456-487, 2006a.

_____. Legislative cosponsorship networks in us house and senate. *Social Networks*, v. 28, p. 454-465. 2006b.

PORTER, M. A. *et al.* Community structure in the United States house of representatives. *Physica A*, v. 386, n. 1, p. 414-438, 2007.

EDITORIAL

Coordenação

Iranilde Rego

Revisão

Cláudio Passos de Oliveira

Luciana Dias Jabbour

Marco Aurélio Dias Pires

Reginaldo da Silva Domingos

Leonardo Moreira de Souza (estagiário)

Maria Angela de Jesus Silva (estagiária)

Editoração

Bernar José Vieira

Cláudia Mattosinhos Cordeiro

Everson da Silva Moura

Renato Rodrigues Bueno

Eudes Nascimento Lins (estagiário)

Helenne Schroeder Sanderson (estagiária)

Livraria do Ipea

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, 9ª andar 70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Tiragem: 130 exemplares