

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial

O Modelo Potencial e a Análise de Componentes Principais como metodologias para estudo da interação espacial, hierarquização e agrupamento de municípios - o caso da Microrregião de Divinópolis/MG

Anais do V Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos – Recife - Outubro/2007

Paulo Fernando Braga Carvalho

Belo Horizonte
2007

Paulo Fernando Braga Carvalho

Professor da PUC Minas
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em
Tratamento da Informação Espacial – PUC Minas
professor@pauloferaldo.mat.br

O Modelo Potencial e a Análise de Componentes Principais como metodologias para estudo da interação espacial, hierarquização e agrupamento de municípios - o caso da Microrregião de Divinópolis/MG

Resumo

Na geografia, o estudo da Interação Espacial é de fundamental importância. A distância entre centros, por exemplo, consumidores e produtores nem sempre pode ser medida como função da distância absoluta, pois a interação entre os centros dependerá, além de outros fatores, da forma como esta pode ocorrer. Neste trabalho, busca-se avaliar a interação existente entre os municípios da microrregião de Divinópolis/MG, com conseqüente hierarquização. Para tanto, aplica-se uma combinação do Modelo Potencial, que pode ser visto como uma expansão do Modelo Gravitacional, com a Análise de Componentes Principais. Outra aplicação da Análise de Componentes Principais neste trabalho é de buscar a identificação de agrupamentos de municípios com características e níveis de desenvolvimento semelhantes. Os resultados foram confrontados com os obtidos via aplicação das Teorias do Lugar Central, da Localização Industrial e de “Cidades Médias”, com resultados muito semelhantes.

Palavras-chave: Análise Espacial, Modelo Gravitacional, Modelo Potencial, Interação Espacial, Análise de Componentes Principais

Abstract

The study of the Spatial Interaction has an essential importance for the Geography field. The distance between the commercial center of towns with an important role for local economy, for example, can not be always measured between consumers and producers as a function from absolutely distance, since the interaction from the centers depend, beyond others factors, on the way that this one occurs. The valuation of the interaction between the towns of the microregion of Divinópolis/MG, with a consequence on hierarchy is approach in this job. To do so, we have applied a combination to the Potential Model which can be seen as an expansion from the Gravitational Model in addition to the Principal Components Analysis. Another application to the Principal Components Analysis is to search for the identity of municipalities grouping with similar characteristics and development stages. The results were compared with those acquired from the application to the Theories of Central Place, Industrial Location and Middle-Size Cities, with similar results.

Key words: Spatial Analysis, Gravity Model, Potential Model, Spatial Interaction, Principal Component Analysis

Área: Metodologia e Técnicas de Análise Regional

O Modelo Potencial e a Análise de Componentes Principais como metodologias para estudo da interação espacial, hierarquização e agrupamento de municípios - o caso da Microrregião de Divinópolis/MG

Paulo Fernando Braga Carvalho*

Este texto marca o início de um trabalho pela busca de metodologias ou adequações de metodologias já existentes para análise da Interação Espacial, que levem em consideração as distâncias entre os centros que interagem.

Para discussão do tema proposto, pretende-se, inicialmente, tecer breves comentários sobre Interação Espacial, buscando mostrar a importância e o uso dos Modelos de análise da Interação Espacial nos dias atuais. Em seguida, apresentar as origens do Modelo Gravitacional, destacando algumas áreas que o aplicam, adaptado da Teoria da Gravitação Universal, e sua formulação matemática. Algumas discussões sobre a obtenção dos parâmetros envolvidos nesta formulação são feitas e para concluir é apresentado um exemplo de aplicação, relacionado à microrregião de Divinópolis/MG, comparando os resultados obtidos com aqueles apresentados em Alvim, Carvalho e Oliveira (2006a).

Ao comentar os modelos Gravitacional e Potencial serão apresentados os conceitos fundamentais envolvidos em suas formulações básicas, sem abordar outras de suas variações, para que se possa concentrar a discussão na análise e discussão da obtenção dos parâmetros solicitados pelos modelos, ou seja, na calibração do modelo.

A exemplificação é feita em duas etapas: a primeira de simples aplicação das formulações sugeridas pelos dois modelos, com dados hipotéticos, e outra em um problema de cunho geográfico, com dados reais.

2.1 Interação Espacial

Na geografia, o estudo da Interação Espacial é de fundamental importância. A distância entre centros, por exemplo, consumidores e produtores nem sempre pode ser medida linearmente, pois a interação entre os centros dependerá, além de outros fatores, da forma como esta pode ocorrer. Por exemplo, no caso da existência de dois centros produtores, A e B, e outro centro consumidor, C, equidistante dos dois primeiros, as facilidades de acesso podem fazer com que o consumidor opte por aquele com melhores condições de acessibilidade. O potencial de atração de cada centro, de acordo com os serviços oferecidos, será determinante na escolha do consumidor em C. Em certos casos, mesmo tendo que enfrentar maiores distâncias, o consumidor pode optar por um centro que ofereça melhores condições.

* Professor da PUC Minas e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial da PUC Minas – professor@pauloferando.mat.br

O termo Interação Espacial é bastante amplo. Neste trabalho, considera-se Interação Espacial qualquer movimento no espaço provocado por relações humanas. Isto significa dizer que relações como migração, movimentos de ida ao trabalho ou a um hospital, transmissão de dados ou conhecimentos, acesso a serviços públicos ou privados e vários outros podem ser tratados por modelos de Interação Espacial.

Quando se fala de Interação Espacial, além de trabalhar com a localização absoluta adota-se, também, a localização relativa.

Todas as coisas na face da Terra possuem uma localização absoluta, que pode ser indicada pelas coordenadas Longitude/Latitude ou por outro referencial de coordenadas. Como exemplo, podemos falar sobre uma localidade a 10 quilômetros de Belo Horizonte ou de outra a 10 quilômetros de São Paulo. Em termos absolutos, estas localidades são idênticas quando dizemos que estão a 10 quilômetros de um centro urbano. Mas, em termos relativos, estas se diferenciam pelos acessos aos diversos serviços de saúde, lazer, transporte, emprego, etc.

Estas características diferenciarão localização absoluta de localização relativa. Um migrante pode considerar uma localidade fisicamente mais distante mais atraente, dadas as oportunidades ofertadas. Ou seja, esta localidade está mais próxima de seus interesses e objetivos.

Uma das habilidades humanas é a de viajar ou se mover sobre a superfície da Terra e trocar dados, informações e mercadorias distantes. A evolução dos meios de transporte e da tecnologia, em particular, da informática, facilitam o movimento de pessoas, cargas, dados e informações. Cada um destes deslocamentos gasta recursos como dinheiro, energia, tempo, etc. que podem ser mensurados.

Christaller já dizia que a distância física deve ser substituída pelo conceito de distância econômica. Para Von Thünen, em seu modelo de localização de produção agrícola, o custo de transporte faz com que a distância represente uma diminuição significativa de rendimento líquido, o que influencia a formação do mercado produtor e conseqüente interação com o mercado consumidor. Weber, na Teoria da Localização Industrial procura explicar a escolha locacional da indústria, usando diversos fatores como, por exemplo, transporte e mão-de-obra.

Os modelos de Interação Espacial permitem a mensuração explícita do relacionamento entre distâncias relativas e medidas relativas de tamanho ou escala percorridas. Esta localização relativa é de interesse de gestores governamentais, analistas de transportes, investidores, pesquisadores, geógrafos, empresas de logística, seguradoras, dentre outros.

Pode-se encontrar na bibliografia diversos estudos que ajudam a compreender como funciona a Interação Espacial dentro de uma região ou entre diversas regiões, como índices de autocorrelação espacial, teorias da localização, estatística espacial, dentre outros, além dos Modelos abordados neste estudo.

Deste ponto em diante, trata-se dos Modelos Gravitacional e Potencial. Este último, como será visto, é uma extensão do Modelo Gravitacional de Newton, da Física.

Os modelos gravitacionais são assim chamados, pois são baseados na idéia de “atração” entre localidades a partir de “massas” atribuídas a estas localidades e das distâncias entre elas. O modelo gravitacional é utilizado para calcular o nível das interações entre duas regiões ou pontos geográficos. Como exemplo, os modelos gravitacionais podem servir para explicar os fluxos de comércio bilaterais. Em sua versão mais simples, as forças de atração correspondem às rendas dos dois países e as forças de repulsão, à distância geográfica entre eles.

O Modelo Potencial, que pode ser visto como uma extensão do Gravitacional, é utilizado para calcular índices de interação especificamente para uma região ou ponto (centro). Ou seja, o Modelo Potencial dá uma medida da interação entre um determinado centro e vários outros. É uma medida da “importância” o centro no conjunto considerado. Como exemplo, pode-se ter o interesse de identificar o potencial de atratividade comercial da região metropolitana de Belo Horizonte em relação às demais regiões do estado de Minas Gerais.

Estes dois modelos permitem, dentre outras análises, determinar áreas de influência de um centro, realizar hierarquizações de municípios, estados, ou mesmo regionalizações, pois favorecem a identificação de localidades com potenciais semelhantes, ou ainda, de um pólo e dos centros que são atendidos por ele.

2.2 O Modelo Gravitacional

O Modelo Gravitacional é um exemplo de Modelo de Interação Espacial, sendo, provavelmente, um dos mais aplicados. Este modelo tem se mostrado de grande interesse para a Geografia moderna porque torna explícita e operacional a idéia de localização relativa em oposição à localização absoluta.

A denominação Modelo Gravitacional vem da analogia com a Lei da Gravitação Universal de Newton (Século XVII) que trata da interação entre dois corpos planetários. De acordo com esta lei, a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional às massas desses corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

$$F_{ij} = G \cdot \frac{M_i \cdot M_j}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

Sendo,

F_i Força de atração

G uma constante (gravitacional),

M_i a massa de i

M_j a massa de j e

D_{ij} a distância que separa i de j

Nesta analogia, considera-se que centros maiores (maior população, maior Produto Interno Bruto, maior fluxo) tendem a gerar mais atividades que centros menores e que quanto maior a distância entre dois centros, menor será a interação entre eles.

As situações nas quais o Modelo Gravitacional tem sido usado não são limitadas. Encontra-se aplicações no transporte, em marketing, hierarquizações, regionalizações, etc. Percebe-se, também, que vários trabalhos de cunho geográfico pedem suporte à estes modelos em suas análises, como será sugerido adiante.

2.3 Formulação Matemática

Para melhor adequação da formulação da Lei da Gravitação Universal de Newton (1) aos problemas enfrentados na Geografia, faz-se algumas modificações, particularmente, nos expoentes. Ou seja, considera-se que os expoentes dos tamanhos (ou massas) não sejam necessariamente iguais a um e, da mesma forma, que o expoente da distância possa ser diferente de dois.

Com as modificações, a formulação matemática do Modelo Gravitacional é feita da seguinte forma:

$$I_{ij} = K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda} \quad (2)$$

Onde,

I_{ij} é a interação dos centros i e j

M_i e M_j indicam os tamanhos dos centros (população é o mais usado)

D_{ij} a distância entre os centros

K , α , β e λ são os parâmetros a serem determinados, em geral, empiricamente.

Segundo Ferreira (1989, p. 528) as hipóteses do modelo são que a interação entre os indivíduos em suas atividades são proporcionais às massas ou populações entre as cidades, porque quanto maiores os aglomerados humanos, provavelmente maior deve ser a comutação, sob diversos aspectos, entre esses aglomerados. Por outro lado, a “fricção da distância”, ou seja, o custo e o sacrifício em deslocar-se no espaço reduz, paulatinamente, aquela comutação, quanto maior for a distância entre dois pontos. Assim, admite-se que a interação seja inversamente proporcional a distância.

A “massa” adotada no modelo pode ser a população, o Produto Interno Bruto, o saldo migratório ou outra variável que consiga medir a dimensão do centro e que atenda ao objetivo do estudo. Alguns autores sugerem o uso da estatística multivariada para determinação de índices que concentrem em um só valor as características de tal centro.

A “massa” sócio-econômica pode ser construída, por exemplo, como um índice que resulta da combinação linear de um conjunto relevante de variáveis ponderadas, normalizadas e somadas, para cada município. A técnica da Análise de Componentes

Principais é um recurso estatístico, que possibilita esse índice ser construído. (Ferreira, 1989, p.529)

Outra aplicação da estatística multivariada, particularmente, a Análise de Componentes Principais, para determinação das massas pode ser encontrada em Castro e Abreu (2004, p.9). Neste estudo adotam-se os *factores scores* obtidos após análise de 37 variáveis, como massa socioeconômica para mapeamento das potencialidades do Sul de Minas e “entorno” no ano de 1999.

Quanto às distâncias, devem ser preferencialmente aquelas correlatas com o fenômeno em estudo. Elas podem ser medidas nas mais diversas unidades, usando traçados de rodovias, ferrovias, tempo de percurso, custo financeiro de transporte, etc. Quando se trata de estradas, sendo possível, deve-se ponderar os percursos de acordo com a “fricção” provocada pela via.

Em geral, este modelo tem sido mais usado como base para explicações do que para predições, apesar de ser claro que, para realizar predições é preciso ter o fenômeno bem explicado.

Pode-se perceber que o modelo tem sido expandido e refinado de acordo com a aplicação almejada, já faz alguns anos.

Segundo Haynes e Fotheringham (1988, p.16), diferentes nomes têm sido dados à formulação básica ou com pequenas modificações: Reilly's Law of Retail Gravitation (1929); Huff's Model of Consumer Behavior (1959); Dodd's Interactance Hypothesis Model (1950); Zipf's Minimum Effort Model (1949); Stouffer's Intervening Opportunity Model (1940, 1960), e Wilson's Entropy Model (1967). Entretanto, o nome que continua sendo adotado mais comumente para o conceito, Modelo Gravitacional, remete às origens, como utilizado na física Newtoniana, para explicar os fenômenos na Ciência Social.

2.4 Determinação dos parâmetros

Uma questão que sempre incomoda é a da determinação dos parâmetros adotados na formulação matemática do Modelo Gravitacional. Este estudo deve ser visto como um primeiro “ataque” que o autor faz sobre o problema e, portanto, se mostra um pouco superficial e merece continuação. Mas, ainda assim, é apresentado justamente para mostrar a relevância do tópico e suscitar discussões sobre o assunto.

A determinação dos parâmetros adotados no Modelo Gravitacional é de grande importância e o processo de escolha de tais parâmetros, denominado calibração do modelo, em geral, é feito empiricamente.

Para mostrar alguns impactos que os parâmetros provocam nos resultados obtidos com a aplicação do modelo, faz-se o teste para duas situações: uma em que se faz variar a distância entre dois centros e o expoente adotado para as distâncias e outra em que a população de um dos centros varia e, também, seu expoente.

Os resultados mostram que a escolha dos parâmetros altera a magnitude do valor obtido para a interação entre os centros. Ou seja, a escolha de tais parâmetros não deve ser feita aleatoriamente, pois pode comprometer a análise. Além disso, é comum, mas não necessário, adotar α igual a β em (2). Veja comentários sobre os resultados:

O gráfico 1 exemplifica o decrescimento da interação entre os centros i e j , à medida que a distância entre eles aumenta. Neste exemplo, adotou-se $M_i = 500.000$, $M_j = 1.000.000$; K , α e β iguais a 1 e $\lambda_1 = 1,3$ e $\lambda_2 = 1,6$. Em ambos os casos, a interação tende a zero quando a distância aumenta.

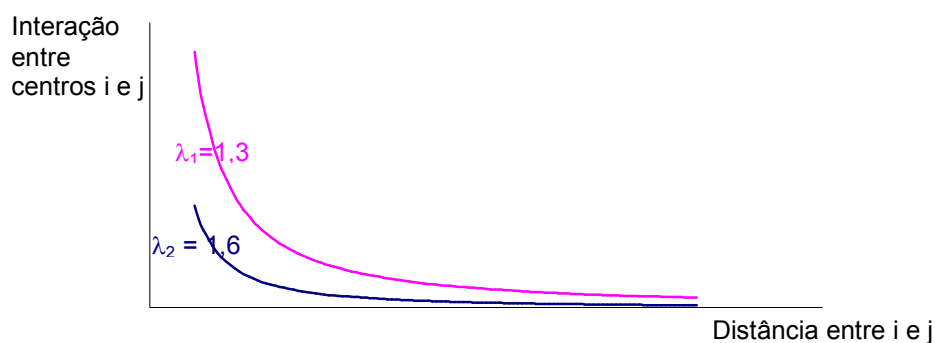


Gráfico 1: Interação entre centros em função da distância

O Gráfico 2 mostra a relação entre a interação de um centro menor i , cuja população variou de 1 a 999.000 habitantes e um centro maior, com população igual a 1.000.000, para α 's diferentes. Neste caso, a interação aumenta à medida que a população de i aumenta, assim como, se aumentamos o valor do parâmetro α .

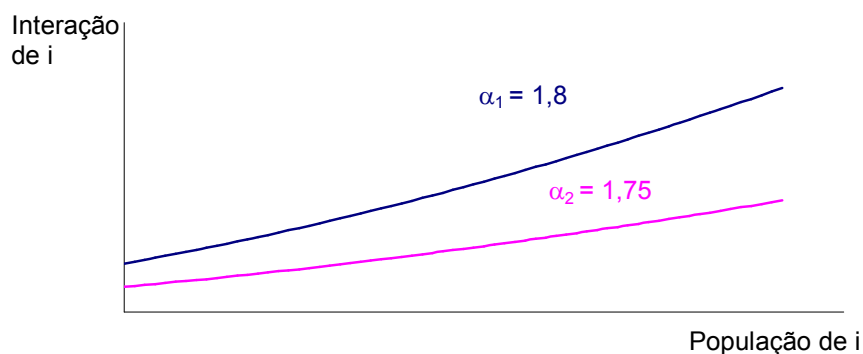


Gráfico 2: Interação do centro i em função de sua população

Logo, a escolha inadequada dos parâmetros pode exacerbar ou reduzir as diferenças de interações entre os centros sendo, pois, necessária atenção especial à calibração do modelo adotado.

Tendo sido feita uma discussão inicial sobre as conseqüências de uso de um valor ou outro para os parâmetros, passa-se a trabalhar uma técnica para determinação destes parâmetros, aplicando a regressão linear múltipla.

Com o objetivo de determinar os parâmetros K , α , β e λ , deve-se linearizar a equação (1). Para tanto, aplica-se o logaritmo nos dois membros desta equação:

$$\log(I_{ij}) = \log\left(K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda}\right)$$

$$\therefore \log I_{ij} = \log K + \alpha \log M_i + \beta \log M_j - \lambda \log D_{ij}.$$

Aplicando-se a propriedade logarítmica $\log_a b^c = c \cdot \log_a b$, obtém-se:

$$\log I_{ij} = \log K + \alpha \log M_i + \beta \log M_j - \lambda \log D_{ij}. \quad (3)$$

A equação (3) é linear, quando consideramos α , β e λ como coeficientes das variáveis $\log M_i$, $\log M_j$ e $\log D_{ij}$ e $\log K$ uma constante. Supõe-se conhecidos os vetores de massas M_i e M_j e a matriz de distâncias D_{ij} . Logo, tem-se uma equação do tipo $Y = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3$, onde A_1 , A_2 , e A_3 são representados pelos parâmetros α , β e λ e $\log K$ por A_0 .

Como sugerido por Ferreira (1989, p.538), baseia-se aqui na hipótese de que existe relação direta entre a força de atração (I_{ij}) entre dois centros i e j e a intensidade de fluxos (fluxo de transporte, fluxo de comunicação, fluxos de pessoas, etc.) que são gerados entre eles. Logo, para determinação dos parâmetros, faz-se a substituição de I_{ij} pelos fluxos observados entre os pontos i e j .

Com isto, a equação (3) se torna uma equação de regressão e, assim, podemos estimar os valores dos parâmetros. Os softwares matemáticos e estatísticos oferecem funções para resolver este problema de regressão. Como exemplo, no MATLAB, existe a função *regress*.

2.4 Exemplo 1

Para exemplificar o uso da fórmula associada ao Modelo Gravitacional e sua calibração, avalia-se a relação entre quatro municípios, com dados apresentados nas TABELAS 1 e 2 e a Figura 1. Para estimação dos parâmetros, usa-se a migração interna como referência do fluxo existente entre os municípios.

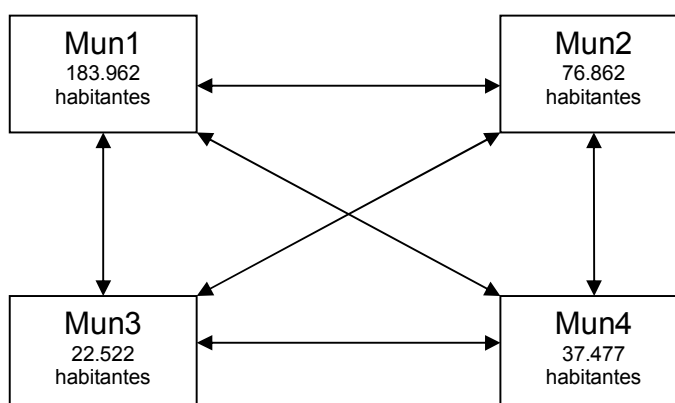


Figura 1: Diagrama indicando a relação entre os municípios e respectivas populações

TABELA 1
Distâncias entre os centróides dos municípios (em km)

	Mun1	Mun2	Mun3	Mun4
Mun1	0	36,1	34,7	30,1
Mun2	36,1	0	40,6	47,6
Mun3	34,7	40,6	0	64,1
Mun4	30,1	47,6	64,1	0

Para estimação dos parâmetros que calibram o Modelo Gravitacional, adotar-se-á a migração interna como medidor da “força de atração” entre os municípios, acreditando-se que há uma relação direta entre esta força e a intensidade de fluxos.

A opção pela determinação das distâncias como aquela entre os centróides dos municípios, sem dúvida, não é a mais adequada. Sendo viável, deve-se adotar aquela percorrida pelos migrantes, mercadorias, ou qualquer outro produto, e, se possível, ponderando de acordo com as facilidades existentes no percurso.

TABELA 2
Migração entre municípios (em número de habitantes)

		Destino			
		Mun1	Mun2	Mun3	Mun4
Origem	Mun1	0	101	135	404
	Mun2	303	0	0	128
	Mun3	414	9	0	0
	Mun4	121	10	0	0

Fonte: Dados hipotéticos

Os valores adotados para os parâmetros são: $K = 0,05938$, $\alpha = 0,4990$, $\beta = 0,7608$ e $\lambda = -1,8416$. Estes parâmetros foram obtidos via regressão linear múltipla, como sugerido pela equação (3), com uso do Método dos Mínimos Quadrados, via software MATLAB, onde I_{ij} é estimado pela migração interna entre estes municípios. Faz-se a opção por considerar a população migrante de um município para si mesmo (quando

i=j) como a população do próprio município ao considerar que esta população foi “atraída” pelo próprio município e as interações nulas são eliminadas da regressão.

Seria interessante testar a calibração obtida para o modelo em situações conhecidas com o objetivo de validar ou não o resultado apresentado.

Veja aplicação da fórmula para cálculo da Interação entre Mun1 e Mun2:

$$I_{1,2} = 0,05938 \cdot \frac{183962^{0,4990} \cdot 76862^{0,7608}}{36,1^{1,8416}}$$

Os resultados para as demais interações estão na Tabela 3. Tais resultados indicam que o município que apresenta interações mais fortes com os demais é Mun1, aquele de maior população, e que, provavelmente pode ser qualificado como pólo atrator da região, seguido de Mun2. Observe que esta tabela não é simétrica, já que os parâmetros α e β não são iguais. Em geral, faz-se opção por $\alpha = \beta$. Mas, para enriquecimento da discussão, fez-se a opção por aceitar os valores obtidos na regressão múltipla.

TABELA 3 Resultados obtidos com a aplicação do Modelo Interação entre municípios

	Mun1	Mun2	Mun3	Mun4
Mun1	254.922,4	177,7	75,1	143,8
Mun2	223,3	84.899,3	36,4	40,0
Mun3	130,2	50,2	18.083,1	12,5
Mun4	218,1	48,3	11,0	34.347,7

Fonte: Dados hipotéticos

2.5 O Modelo Potencial

O Modelo Potencial pode ser visto como uma expansão do Modelo Gravitacional ou uma generalização, passando da medição da relação entre dois centros, como na equação (1) para um conjunto de fluxos entre vários centros. Leva-se em conta todos os fluxos mantidos por cada centro. Logo, quanto maior o centro, maior tende a ser seu potencial.

Ao somar as interações entre o centro i e todos os outros centros, tem-se que:

$$\sum I_{ij} = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{in}$$

$$\sum_{j=1}^n I_{ij} = K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_1^\beta}{D_{i1}^\lambda} + K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_2^\beta}{D_{i2}^\lambda} + K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_3^\beta}{D_{i3}^\lambda} + \dots + K \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_n^\beta}{D_{in}^\lambda}$$

$$\therefore \sum_{j=1}^n I_{ij} = K \cdot M_i^\alpha \cdot \left(\sum_{j=1}^n \frac{M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda} \right), \text{ dividindo os dois membros por } M_i^\alpha, \text{ encontra-se:}$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n I_{ij}}{M_i^\alpha} = K \cdot \left(\sum_{j=1}^n \frac{M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda} \right).$$

Define-se, assim, o Potencial do centro i , P_i , como

$$P_i = K \cdot \left(\sum_{j=1}^n \frac{M_j^\beta}{D_{ij}^\lambda} \right) \quad (4)$$

A interpretação dada a P_i é de que quanto mais alto for seu valor, maior a probabilidade de i ser um centro “atrator”. Logo, um centro (por exemplo, mercado consumidor) em desequilíbrio tende a ser atraído para o centro de maior potencial.

Observe que, pela formulação, o Potencial de cada centro depende dos demais centros que compõem o sistema.

2.6 Exemplo 2

Para exemplificar a aplicação da fórmula do Modelo Potencial, calcula-se o Potencial para os municípios Mun1, Mun2, Mun3 e Mun4, fazendo uma hierarquização destes, de acordo com os resultados obtidos.

Cálculos efetuados para Mun1:

$$K = 0,05938, \alpha = 0,4990, \beta = 0,7608 \text{ e } \lambda = -1,8416$$

$$P_1 = 0,05938 \cdot \left(\frac{183962^{0,7608}}{1} + \frac{76862^{0,7608}}{36,1^{1,8416}} + \frac{22522^{0,7608}}{34,7^{1,8416}} + \frac{37477^{0,7608}}{30,1^{1,8416}} \right)$$

De modo análogo, aplica-se a fórmula (4) para dos demais municípios. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

TABELA 4

Hierarquização dos municípios de acordo com o Potencial

i	Município	Potencial (P_i)
1	Mun1	602,4
2	Mun2	310,7
3	Mun4	180,7
4	Mun3	123,0

A hierarquização obtida sugere o esperado, ficando reforçada a posição de Mun1 como possível pólo da região seguido de Mun2. Deve-se notar que, apesar de Mun4 exigir maiores deslocamentos, tem população e migração maiores que Mun3, sugerindo a

inversão de posições, como feito no quadro hierárquico. Na Figura 2, pode-se observar a representação gráfica da força de atração do Município Mun1.

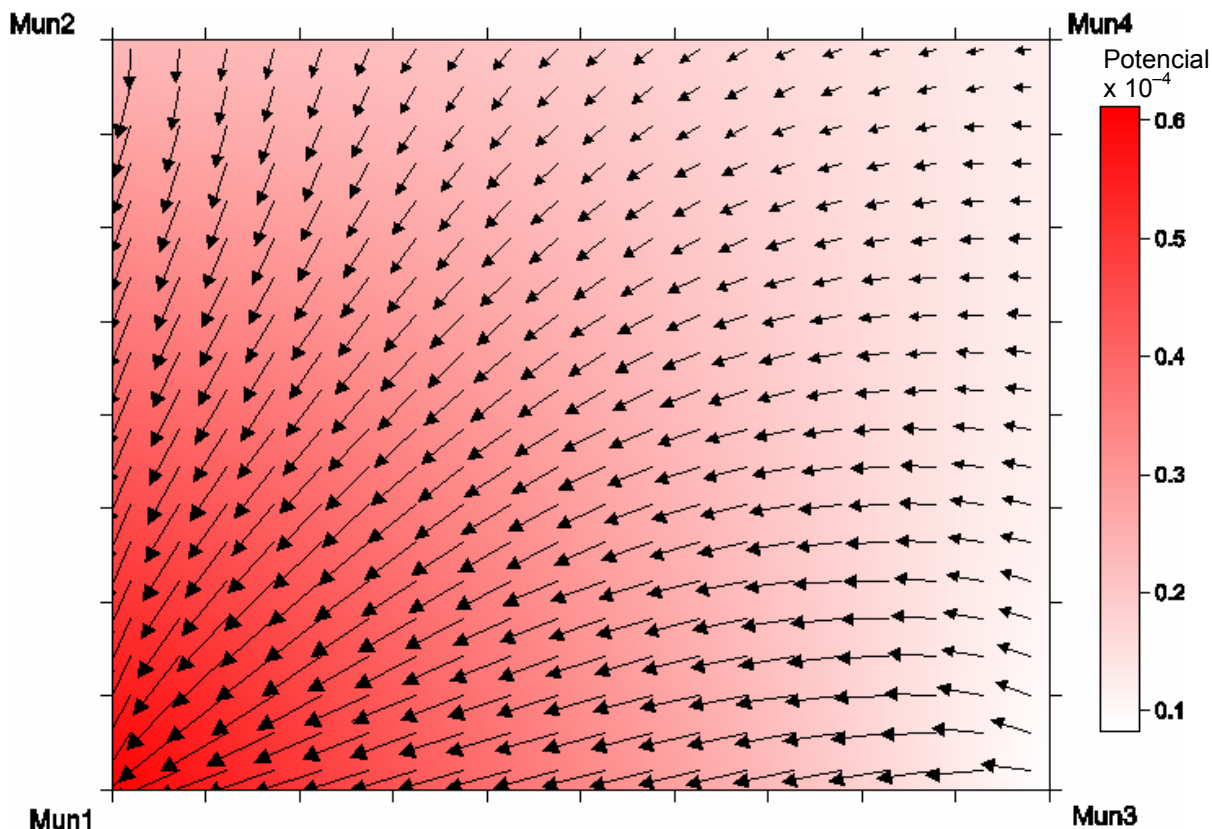


Figura 2: Mapa de Vetores para o potencial

2.7 O caso da microrregião de Divinópolis

Como exemplo de aplicação do Modelo Potencial, pretende-se hierarquizar e agrupar os municípios da microrregião de Divinópolis, de acordo com seu potencial. Para tanto, na calibração do modelo (determinação das constantes k , α , β e λ) adotar-se-á a migração interna 1995-2000, conforme dados do censo realizado pelo IBGE no ano de 2000. Os valores adotados para “massa”, denominados Indicadores de Estágio de Desenvolvimento Econômico, são os encontrados em Alvim e Carvalho (2006), obtidos via Análise de Componentes Principais de 14 variáveis socioeconômicas, veja Tabela 5. As distâncias utilizadas são as rodoviárias entre as sedes dos municípios e os cálculos foram feitos usando o software MATLAB.

Na calibração do modelo encontrou-se $k = 5.067,57$, $\alpha = 0,8026$, $\beta = 0,7723$ e $\lambda = 1,9233$. Ou seja, o Potencial é calculado pela expressão:

$$P_i = 5067,57 \cdot \left(\sum_{j=1}^{11} \frac{M_j^{0,7723}}{D_{ij}^{1,9233}} \right) \text{ e os resultados encontram-se na TABELA 5.}$$

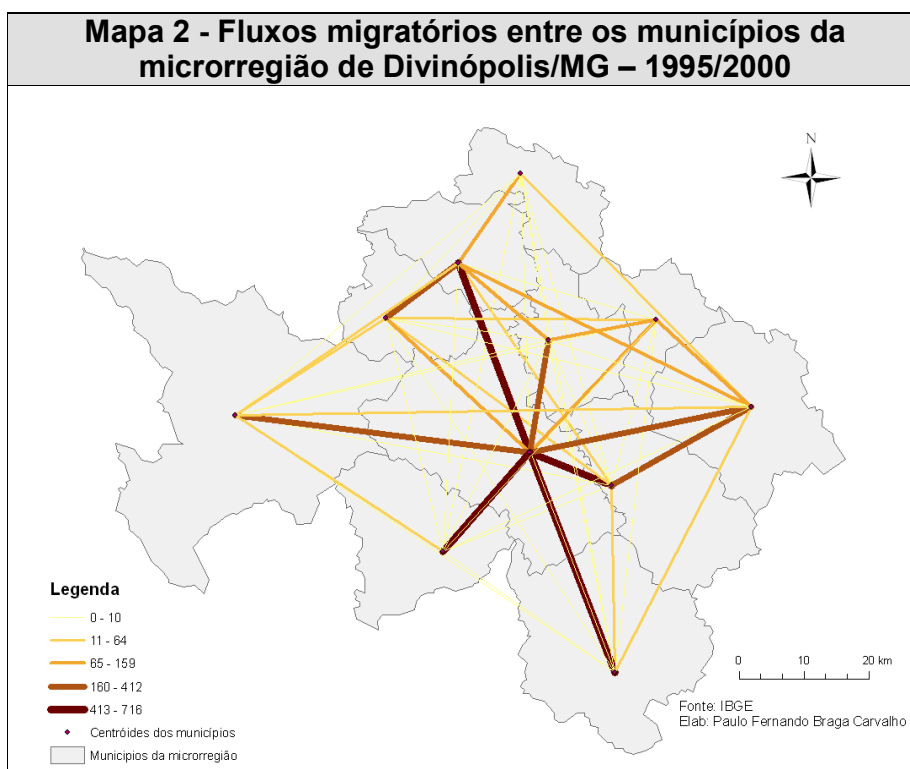
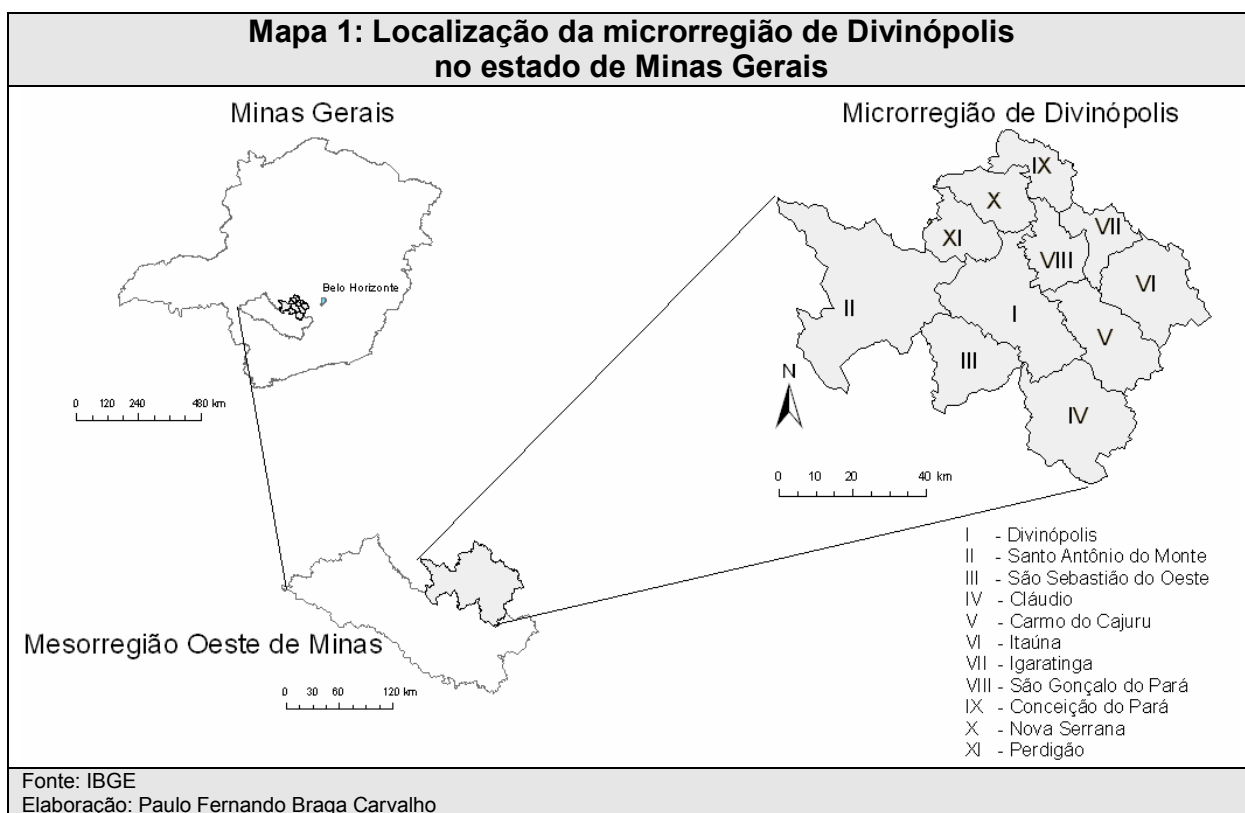


TABELA 5
Indicadores de Estágio de Desenvolvimento Econômico e resultados obtidos via Modelo Potencial

n	Municípios	Escore (Indicador de Estágio de Desenvolvimento Econômico)	Potencial
1	DIVINÓPOLIS	8,7406	34813,29
2	ITAÚNA	3,0254	20569,53
3	NOVA SERRANA	0,8399	14545,00
4	SANTO ANTÔNIO DO MONTE	-0,1042	11588,95
5	CARMO DO CAJURÚ	-0,7930	9663,17
6	CLÁUDIO	-0,9410	8887,03
7	PERDIGÃO	-1,4927	6990,47
8	IGARATINGA	-1,8673	5641,88
9	SÃO GONCALO DO PARÁ	-2,1396	4653,45
10	CONCEIÇÃO DO PARÁ	-2,5070	2952,18
11	SÃO SEBASTIÃO DO OESTE	-2,7611	1684,56

Fonte: Alvim, Carvalho e Oliveira (2006a) – ampliada pelo autor

Os resultados obtidos indicam a mesma hierarquia sugerida por Alvim, Carvalho e Oliveira (2006a), adotando apenas a Análise de Componentes Principais. Neste mesmo trabalho, a hierarquia das cidades da Microrregião de Divinópolis é analisada a partir das Teorias do Lugar Central, da Localização Industrial e “de Cidades Médias” e os resultados foram semelhantes ao encontrado usando o Modelo Potencial. Isto sugere que, esta pode ser uma metodologia objetiva, capaz de apresentar bons resultados em hierarquizações ou mesmo como técnica confirmatória.

Diante disto, o potencial foi utilizado para definir agrupamentos de municípios, como mostra o Gráfico 3, construído dispendo no eixo x o Escore denominado Indicador de Estágio de Desenvolvimento Econômico e no eixo y o Potencial calculado para cada município. Nota-se nesse caso, que

Divinópolis e Itaúna formam um grupo, pois, tais cidades são justamente as que têm uma economia já estruturada em que o setor de serviços prepondera e que têm maior raio de influência, o que se deve em grande parte, à oferta de serviços mais modernos se comparados àqueles encontrados nos demais municípios da microrregião ... Nova Serrana, não pode ser agrupada por ter suas especificidades. Trata-se de um centro emergente, não tão recente quanto Santo Antônio do Monte, Cláudio e “Carmo do Cajuru”...

O segundo agrupamento a que se chegou foi o de Santo Antônio do Monte, Cláudio e Carmo do Cajuru, municípios especializados

respectivamente nas indústrias de fogos de artifícios, fundição e móveis e que apresentam PIB Industrial semelhante em termos absolutos...

Outro agrupamento é formado pelas cidades de Perdigão, São Gonçalo do Pará, Conceição do Pará e Igaratinga que têm seus Produtos Internos Brutos variando de 30 a 40 milhões de reais e têm como principal rodovia que as serve a BR 262. No entanto, estes centros urbanos mostram certas especificidades que merecem ser melhor investigadas. São Sebastião do Oeste não pode ser agrupado e é o único município que entre 1991 e 2000 apresentou uma taxa de crescimento econômico negativa e a menor média de anos de estudo das pessoas de 25 anos ou mais de idade, média de 3,9 anos (IBGE, 2000). (ALVIM, CARVALHO e OLIVEIRA, 2006a)

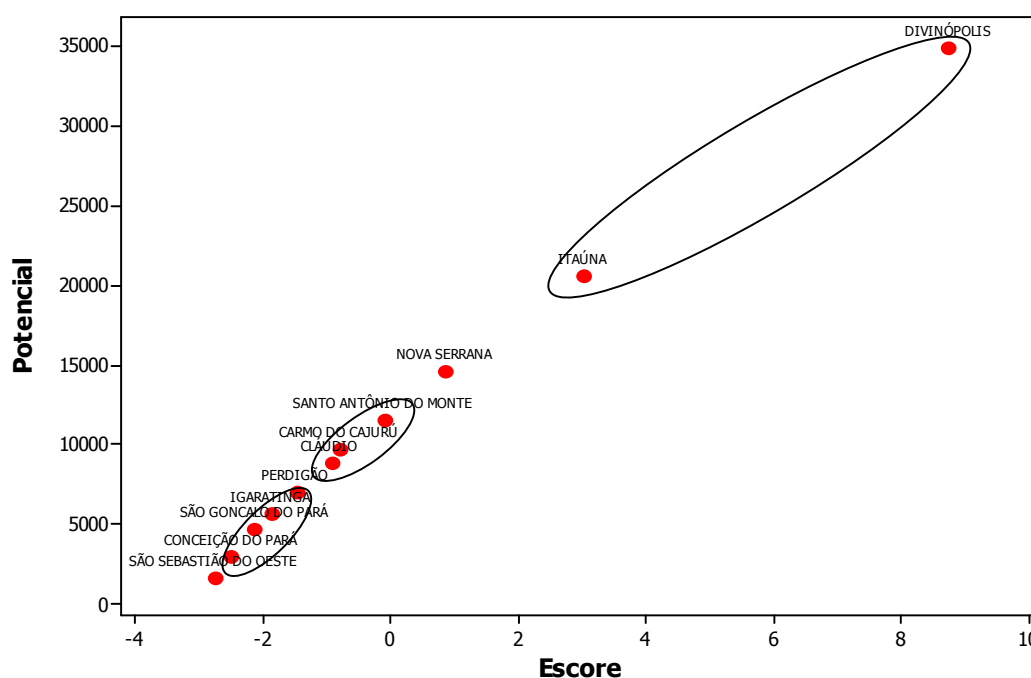
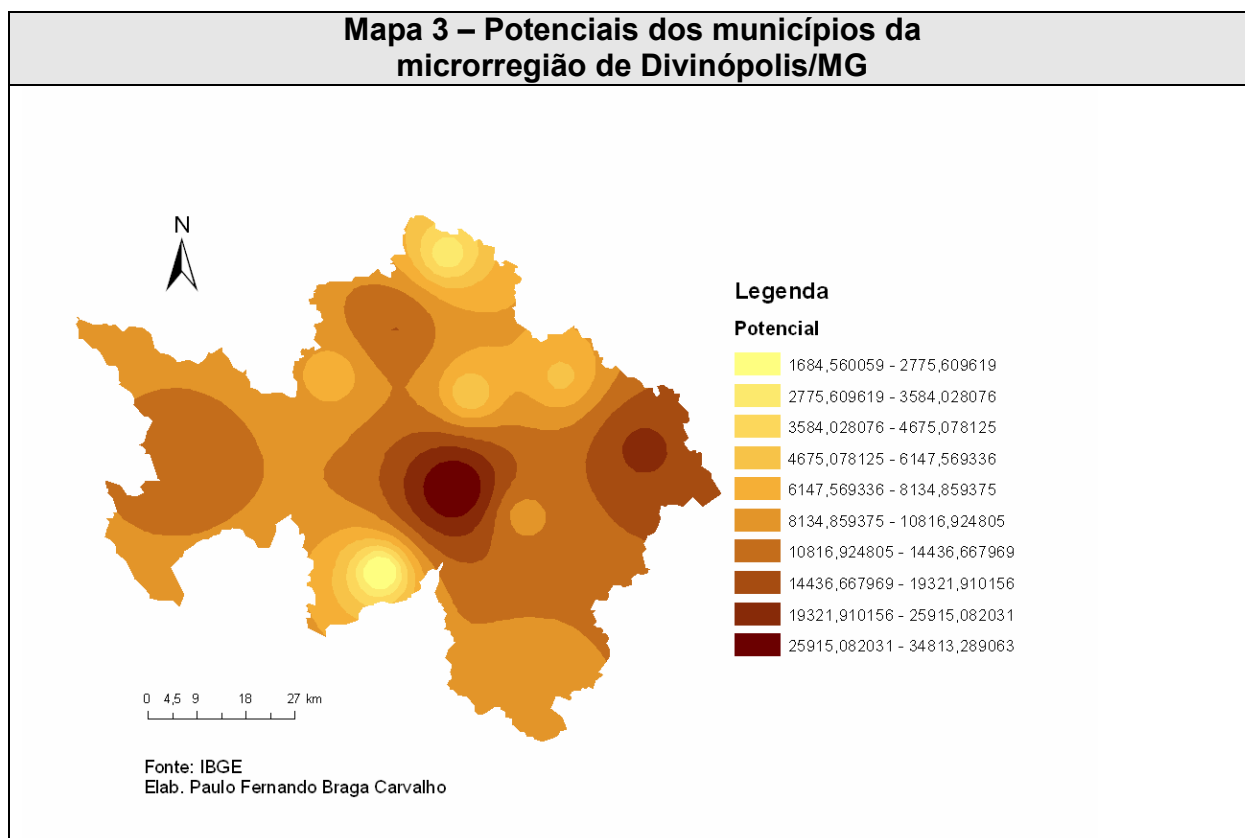


Gráfico 3: Agrupamento conforme relação entre o Escore obtido via ACP e o Potencial de cada município

No Mapa 3, pode-se visualizar as regiões mais próximas de Divinópolis e Itaúna, como aquelas com maior potencial e, ainda, decréscimo do potencial à medida que se afasta desta região.



Mapa 3: Mapeamento dos potenciais dos municípios da microrregião de Divinópolis/MG

2.8 Considerações finais

Concluindo a discussão sobre os Modelos Gravitacional e Potencial, vale chamar a atenção para o fato de que estes modelos são estáticos e descritivos. O próprio modelo em si, não avalia a qualidade das variáveis adotadas, o que deve ficar a cargo do pesquisador, sendo interessante medir o relacionamento entre a “Massa” adotada com a distância entre os centros, pois este precisa ser significativo.

Quanto à calibração do Modelo, fez-se uma exemplificação usando a regressão linear múltipla para obtenção dos parâmetros. O que pode ser visto na bibliografia é que, em geral, faz-se a opção por valores unitários para K, α e β e 2 para λ . O mais comum é encontrar como justificativa a simplicidade de uso do modelo com estes parâmetros, mas, acredito que, esta não deve ser a justificativa mais acertada. A observação de resultados obtidos com a aplicação do Modelo deve servir de subsídio para calibração do mesmo, ou em casos em que seja viável, realizar a regressão como foi feito no exemplo apresentado. Para isso, é interessante que se aplique a formulação obtida em casos já estudados para validar sua aplicabilidade.

Outra avaliação importante é a verificação da relação entre os centros adotados, pois estes modelos partem do princípio de que existe uma interação entre os centros em estudo. Caso se constate a inexistência desta relação o modelo não se mostra adequado para servir de suporte nas análises.

Tendo em vista a aplicação dos modelos, o que se observa é que as mais diversas áreas do conhecimento têm usado o Modelo Gravitacional para análises, adaptado de acordo com suas realidades. Pode-se encontrar referências a este modelos em trabalhos de análise de mercado, planejamento de novos serviços, logística, fluxos de comércio, migração, regionalizações, hierarquizações, etc.

Ao estudar regionalizações, com uso destes modelos, o conhecimento do campo é muito importante, tendo em vista que estes são formulações matemáticas, que nem sempre conseguem captar as particularidades do relacionamento entre os centros. Muitas vezes, são necessárias pequenas correções nas regionalizações sugeridas, tomando como referência modelos teóricos, como feito por Alvim, Carvalho e Oliveira (2006a) ou trabalhos de campo.

E, finalmente, de acordo com o que foi dito até o momento, deve-se destacar a importância da experiência do pesquisador e do conhecimento da realidade para o uso adequado dos Modelos Gravitacional e Potencial, particularmente, para validar a calibração destes.

Como dito no início deste trabalho, este texto representa o início da abordagem de metodologias para avaliação da interação espacial, quem tenham a distância entre os centros como um dos parâmetros. Os resultados obtidos na hierarquização e agrupamento dos municípios da microrregião de Divinópolis, quando comparados àqueles obtidos teoricamente, foram bastante satisfatórios. Outras avaliações continuam sendo feitas, inclusive com proposta de aplicações para outras regiões. Em momento adequado, pretende-se divulgar os resultados.

Referências

ALVIM, Ana Márcia Moreira; CARVALHO, Paulo Fernando Braga; OLIVEIRA, Patrícia A. Brugger. **Análise da microrregião de Divinópolis: sua dinâmica econômica e populacional**. Belo Horizonte: PUC Minas. 2006a

ALVIM, Ana Márcia Moreira; CARVALHO, Paulo Fernando Braga; OLIVEIRA, Patrícia A. Brugger. Análise da dinâmica econômica e populacional das cidades da microrregião de Divinópolis. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS URBANOS, 5, Belo Horizonte. Anais..., Belo Horizonte: PUC Minas. 2006b

ANDRADE, T.A. **Métodos Estatísticos e Econométricos Aplicados à Análise Regional**. In: HADDAD, Paulo Roberto. Org. Economia regional: teorias e métodos de análise. Fortaleza, BNB. 1989. 694p. Cap. 9, p.427-507.

CASTRO, José Flávio Moraes ;ABREU, João Francisco de. Mapeamento das potencialidades espaciais do Sul de Minas e “Entorno” no ano de 1999. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v.14, n.22, p.9-22, 1º sem. 2004.

FERREIRA, Carlos Maurício de Carvalho; HADDAD Paulo Roberto; BOISIER, Sérgio. **Economia Regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB, 1989.

FOTHERINGHAM, A.S.; O’KELLY, M.E. **Spatial interaction models: formulations and applications**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.

HAIR, Joseph F. et. al. **Análise Multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAIR, Joseph F. et. al. **Métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAYNES, Kingsley E.; FOTHERINGHAM, A. S. **Gravity and spatial interaction models**. California, SAGE Publications, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal digital do Brasil de 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

RUMMEL, R. J. **Applied factor analysis**. USA: Northwestern University, 1970.

COLE, John P., KING, Cuchlaine A.M. **Quantitative Geography; Techniques and Theories in Geography**. 3.ed. London: John Wiley & Sons, 1970. 692p.