



# XIV Encontro Nacional da ANPUR

23 a 27 · maio · 2011 · Rio de Janeiro

---

XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR  
Maio de 2011  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

---

GEOPROCESSAMENTO NO APOIO AO PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE: ACESSIBILIDADES, IMPEDÂNCIAS E POTENCIALIDADES TERRITORIAIS

**Ana Clara Mourão Moura** (UFMG) - [anaclara@ufmg.br](mailto:anaclara@ufmg.br)

*Professora Adjunto do Departamento de Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG. Doutora em Geografia pela UFRJ e Mestre em Geografia (Ocupação Humana do Espaço) pela UFMG. Especialista em Planejamento Territorial e Urbano (PUC-MG e Bologna, Itália).*

**Danilo Marques de Magalhães** (UFMG) - [danzetrindade@yahoo.com.br](mailto:danzetrindade@yahoo.com.br)

*Graduado em Geografia pela UFMG. Mestrando em Geografia na UFMG. Bolsista do Projeto PDDI-RMBH.*

# **Geoprocessamento no Apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte: Acessibilidades, Impedâncias e Potencialidades Territoriais**

## **Resumo:**

O Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG participou das atividades do PDDI (Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte) através da estruturação do Sistemas de Informações Geográficas e, sobretudo, na proposição de modelos de análise espacial. Esses modelos visam dar subsídios para as compreensões de algumas dinâmicas territoriais, através de estudos de caracterização da realidade vigente e de predição de algumas condições latentes. O primeiro modelo foi o de estudos de vocações e conflitos de interesse no território da RMBH, baseado em análise de multicritérios. Ele resultou na identificação das áreas prioritárias para o interesse ambiental, as de maior interesse para a expansão da ocupação urbana na região e nos conflitos de interesse. O segundo modelo, o Potencial de Interação, foi estruturado para os estudos de acessibilidade e territorialidade, contribuindo para identificar centralidades econômicas, bem como mensurar o poder e área de influência de cada centralidade no território. Os procedimentos utilizados nos modelos estruturados mostram como os recursos de geoprocessamento podem nos proporcionar ganhos de informação que vão além de uma simples cartografia do território.

## **1. Apresentação**

Os recursos de geoprocessamento têm adquirido papel importante nos estudos planejamento e gestão territoriais, pois permitem a construção de cenários futuros, preditivos, a partir dos dados espacializados que organizados segundo informações do passado e do presente. Xavier-da-Silva (2009) nos lembra que no geoprocessamento “são tratados enormes volumes de dados, exigindo ‘técnicas computacionais’ e disponibilizados atributos geotopológicos, para fins de análises, sínteses e utilização imediata no planejamento ambiental e na gestão territorial” (Xavier-da-Silva, 2009. p. 44).

Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar dois modelos de interesse para os estudos territoriais: a Análise de Multicritérios, destinada a realizar a síntese de complexo conjunto de variáveis e indicar potencialidades e restrições, e o Potencial de Interação, que é indicado para os estudos de acessibilidade e interação entre os componentes de um território.

## **2. Análise de Multicritérios para estudos de vocações e conflitos territoriais**

### **2.1. Metodologia**

Com o intuito de elaborar os mapas de Síntese de Interesse Ambiental e de Síntese de Interesse de Expansão Urbana, foram selecionadas variáveis que respondem pelas condições do interesse de cada tema. As variáveis foram organizadas na forma de mapas temáticos, que e depois foram transformados em superfícies potenciais na distribuição do tema, segundo a pertinência para a elaboração de cada síntese.

Moura (2007, p. 2900) explica que a metodologia de análise de multicritérios é bastante adequada para o emprego das geotecnologias na criação de sínteses de variáveis cujo objetivo é a identificação de áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico. A autora defende: *“O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.”*

Para a aplicação da metodologia, o primeiro passo é a definição dos objetivos (a síntese que se pretende obter a partir da combinação de variáveis) para a seleção de temas de mapeamento e estruturação da base de dados cartográfica e alfanumérica.

Estruturada a coleção de dados, eles são trabalhados na forma de mapas temáticos ou planos de informação que retratam superfícies potenciais de distribuição da variável. Os planos de informação podem ser armazenados em formato vetorial ou matricial, mas há fortes tendências para o predomínio das operações dos modelos em formatos matriciais (*raster*). A questão se justifica pela relação de topologia implícita ao processo matricial, o que não só otimiza o cruzamento de dados, como também é condição *sine qua non* em alguns modelos.

Foram organizadas camadas de informação em diferentes escalas, sendo a de menor detalhe as originadas a partir do mapeamento geológico. Decidiu-se pela adoção da unidade territorial de integração de dados no valor de *pixel* ou célula de 50 por 50 metros, o que atende ao critério de precisão cartográfica, como, sobretudo, pela de dimensão de interesse para a análise territorial, uma vez que a resposta por unidade de área de 50 por 50 metros é mais do que suficiente para os estudos do PDDI.

Moura (2007, p. 2902) explica a lógica de combinação de variáveis: *“O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por “knowledge driven evaluation”, ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por “data-driven evaluation” que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas.”*

A Árvore de Decisões é um fluxograma que demonstra como serão combinadas as variáveis pelo processo de álgebra de mapas. Neste trabalho a álgebra adotada foi de média ponderada, sendo os pesos e notas sugeridos por especialistas que dominavam tanto o fenômeno retratado em cada mapa, como tinham conhecimento específico sobre o território de estudo. A seguir, são apresentadas as árvores de decisões empregadas (Figuras 1, 2 e 3).

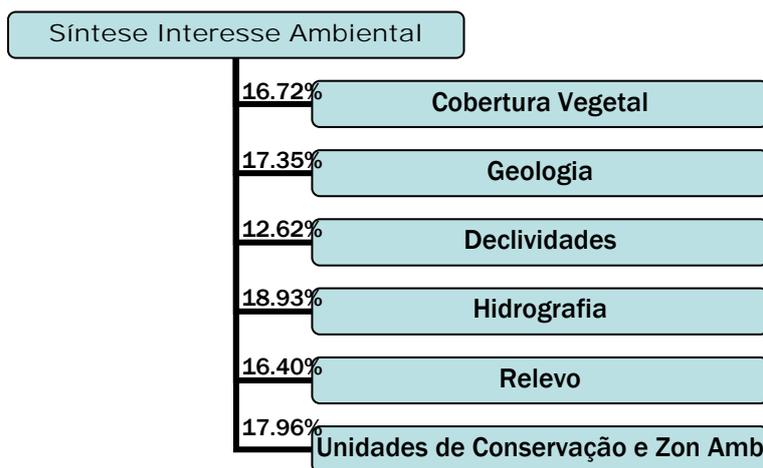


Figura 1 - Árvore de Decisões na estruturação da Síntese de Interesse Ambiental



Figura 2: Árvore de Decisões na estruturação da Síntese de Interesse de Expansão Urbana

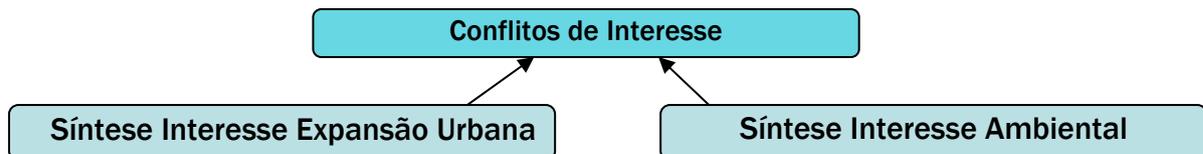


Figura 3 - Árvore de Decisões na estruturação dos Conflitos de Interesse

## 2.2 Resultados e Discussões

As camadas de informação de cada objetivo de análise, tanto de identificação do interesse ambiental como da identificação do interesse de expansão urbana. Cada camada foi transformada em uma superfície potencial de distribuição da variável em específico, segundo sua importância para cada objetivo de análise. As camadas foram combinadas por análise multicritérios e geraram as sínteses parciais que, por sua vez, foram cotejadas de modo a permitir a identificação de vocações e conflitos de interesse.

### 2.1.1 Síntese de Interesse de Expansão Urbana

O procedimento de análise espacial identificou as variáveis que mais determinam o interesse sobre a ocupação antrópica do território de caráter urbano, e promoveu a construção dos planos de informação de cada variável. As camadas de informação foram traduzidas na forma de matrizes com resolução de 50 metros e cujos valores dos componentes de legenda significam o grau de pertinência, de 0 a 10, daquela situação para o interesse de expansão urbana.

**a) Cobertura Vegetal** – mapa obtido através da classificação de imagens de satélite Landsat 2009, resolução 28.5m. Observa-se que onde há expressiva cobertura vegetal ela é classificada como um fator de impedância ao interesse urbano (Figura 4).

**b) Geologia** – O mapeamento geológico teve como base os trabalhos da CPRM e as tipologias foram agrupadas em 10 faixas e classificados segundo as condições de ocupação (Figura 5).

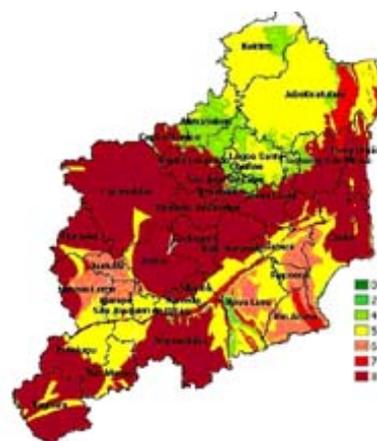


Figura 4 – Cobertura Vegetal interesse urbano

Figura 5 – Geologia interesse urbano

**c) Declividades** – classificadas nas faixas 0 a 5%, 5 a 15%, 15 a 30%, 30 a 47% e acima de 47%. A avaliação das condições de ocupação levou em consideração os riscos de inundação e atribui nota 8 à faixa de muito baixa declividade; a faixa de 5 a 15% recebeu nota 10; a faixa de 15 a 30% recebeu nota 7; a faixa de 30 a 47% recebeu nota 5 sendo considerada de médio risco uma vez que precisa apresentar laudo geotécnico para a ocupação; e a faixa acima de 47% recebeu nota 0 por ser de alto risco e não edificante.

**d) Expansão da Mancha Urbana** – mapa obtido pela localização da mancha de ocupação antrópica e definição de sua área de influência imediata e intermediária (Figura 6).

**e) Energia Elétrica** – mapa obtido pela localização dos postes de energia elétrica da CEMIG (Projeto GEMINI) e suas faixas de influência até as quais o serviço é de fácil extensão.

**f) Unidades de Conservação e Zoneamento Ambiental** – mapa obtido pela localização das unidades de conservação estaduais e federais, somadas às áreas definidas como de interesse ambiental pelos zoneamentos dos planos diretores municipais. É importante destacar que nem todos os municípios da região apresentam zoneamentos em seus planos diretores, de modo que foram mapeadas apenas as informações existentes. Foram separadas em níveis de condições de ocupação urbanas as áreas que são de total impedimento e as áreas consideradas de ocupação sustentáveis (APAs), assim como as sem restrições de interesse ambiental.

**g) Acessibilidade e Capilaridade** – foram mapeadas todas as vias urbanas e todas as estradas e o mapa aplica o procedimento de cálculo de densidade ponderado pela hierarquia viária. Foi feito trabalho de atualização simplificada dos eixos viários inexistentes a partir de imagens de satélite Rapid Eye (Figura 7).

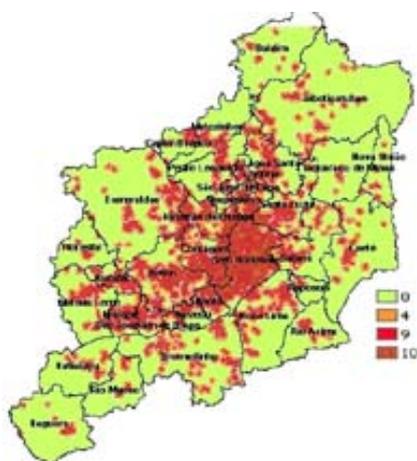


Figura 6 – Expansão da mancha urbana

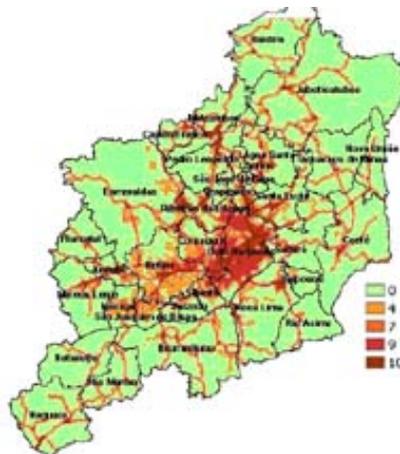


Figura 7 – Acessibilidade e Capilaridade

**h) Saneamento – Coleta de Lixo** – mapa obtido através de tabelas de dados do IBGE (2000) por setor censitário. **Rede de Esgoto** - mapa obtido através de tabelas de dados do IBGE (2000) por setor censitário. **Rede de Água** - mapa obtido através de tabelas de dados do IBGE (2000) por setor censitário.

**i) Mapa Síntese de Interesse de Expansão Urbana:** Uma vez compostos os mapas, eles foram sintetizados por análise multicritérios segundo valores definidos em processo de consulta a especialistas, pelo método Delphi. Os pesos atribuídos para cada camada foram: Unidades de Conservação (estadual e federal) e definição como de interesse ambiental no zoneamento municipal 6.26%, Cobertura vegetal 7.49%, Declividades 9.15%, Geologia 9.40%, Saneamento por Coleta de Lixo 9.88%, Existência de Energia Elétrica 11.08%, Saneamento por Rede de Água 11.57%, Saneamento por Rede de Esgoto 11.57%, Áreas de Expansão Urbana 11.80%, Capilaridade e Acessibilidade 11.81%. É importante lembrar que os riscos de se obter e atribuir um valor ao acaso é muito pequeno, devido ao número de variáveis envolvidas – ele vai de 1 sobre 100 a 10 sobre 100, uma vez que a matriz é composta por 10 variáveis (Figura 8).

### Síntese de Interesse de Expansão Urbana

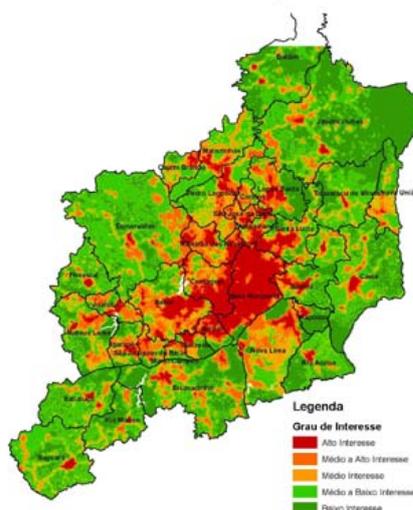


Figura 8 – Síntese de Áreas de Interesse de Expansão Urbana

#### 2.1.2. Síntese de Interesse Ambiental

Através do mesmo procedimento realizado para a composição da síntese de interesse de expansão urbana, foi realizada a construção da síntese de interesse ambiental. Foram identificadas as variáveis que mais determinam o interesse das condições ambientais e foram elaborados planos de informação de cada variável:

**a) Cobertura Vegetal** – mapa obtido através da classificação de imagens de satélite Landsat 2009, resolução 28.5m. Os tipos de cobertura vegetal foram classificados como de grande porte e de maior interesse ambiental, e de médio porte com médio interesse ambiental.

**b) Geologia** – O mapeamento geológico teve como base os trabalhos da CPRM e as tipologias foram agrupadas em 10 faixas e depois classificados segundo as condições de interesse de preservação.

**c) Declividades** – classificadas nas faixas 0 a 5%, 5 a 15%, 15 a 30%, 30 a 47% e acima de 47%. São consideradas de maior interesse de preservação as declividades acima de 47%, seguidas das declividades de 30 a 47% e áreas de baixa declividade propensas a inundações. As faixas de declividade de 5 a 15 e de 15 a 30% não são prioridade na preservação ambiental, segundo o ponto de vista específico da variável.

**d) Hidrografia** – mapa elaborado a partir da localização e construção das faixas de domínio de corpos d'água.

**e) Relevo** – mapa elaborado a partir de modelo digital de elevação e identificação das faixas de altimetria, seguida da separação de topos de morro e áreas baixas e várzeas.

**f) Unidades de Conservação e Zoneamento Ambiental** – foram elaborados dois mapas, um deles retratando a localização das unidades de conservação estaduais e federais, e

outro apresentando as áreas definidas como de interesse ambiental pelos zoneamentos dos planos diretores municipais. É importante destacar que nem todos os municípios da região apresentam zoneamentos em seus planos diretores, de modo que foram mapeadas apenas as informações existentes. Esses dois mapas foram somados e compuseram o mapa de unidades de conservação e zoneamento ambiental.

**g) Mapa Síntese de Interesse Ambiental:** Uma vez compostos os mapas, eles foram sintetizados por análise multicritérios segundo valores definidos em processo de consulta a especialistas, pelo método Delphi. Os pesos atribuídos para cada camada foram: Hidrografia 18.93%, Unidades de Conservação (estadual e federal) e definição como de interesse ambiental no zoneamento municipal 17.96%, Geologia 17.35%, Cobertura vegetal 16.72%, Relevo 16.40% e Declividades 12.62%. É importante lembrar que os riscos de se obter e atribuir um valor ao acaso é muito pequeno, devido ao número de variáveis envolvidas – ele vai de 1 sobre 36 a 6 sobre 36, uma vez que a matriz é composta por 6 variáveis (Figura 9).

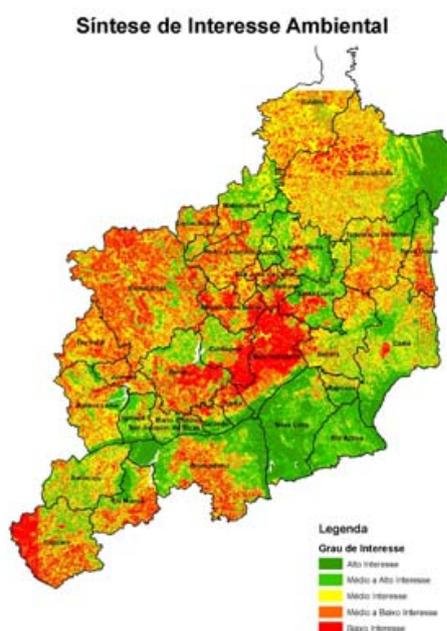


Figura 9 – Síntese de Áreas de Interesse Ambiental

### ***2.3. Identificação de Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da RMBH***

Uma vez elaboradas as sínteses de interesse de expansão urbana e de interesse ambiental, elas são cotejadas de modo a promoverem a identificação das áreas onde a vocação de ocupação é claramente definida, onde há conflitos de interesse, assim como onde há condições específicas de vocações e interesses.

A lógica de análise continua sendo a análise matricial, nas qual são identificadas as possíveis combinações, como observado na figura 10:

		URBANO				
		A	MA	M	MB	B
AMBIENTAL	A	C	C	Ac	A	A
	MA	C	C	T	A	A
	M	Us	T	T	T	Ai
	MB	U	U	T	SC	SC
	B	U	U	Ui	SC	SC

A – AMBIENTAL  
 U – URBANO  
 C – CONFLITO  
 SC – SEM CONFLITO  
 Ac – AMBIENTAL COM CUIDADOS  
 Ai – AMBIENTAL COM INVESTIMENTOS  
 Us – URBANO SUSTENTÁVEL  
 Ui – URBANO COM INVESTIMENTOS  
 T – TRANSIÇÃO OU POTENCIAL DE TRANSFORMAÇÃO

Figura 10 – Matriz de Combinação e Interesses Conflitantes

Observam-se combinações onde há clara definição do predomínio de interesse ambiental ou do predomínio de interesse urbano. Em condições opostas, há as áreas de médio a alto interesse tanto ambiental como urbano, o que gera os conflitos, ao passo que há também áreas de médio a baixo interesse urbano e ambiental, o que as define como sem conflitos. As áreas de conflito serão decididas na política ou a partir de clara definição das prioridades de interesse, o que precisará ser amplamente justificado e argumentado. As áreas sem conflito são indicadas para os usos necessários da ocupação territorial que se colocados em outras posições gerariam conflitos, tais como aterros sanitários, parques industriais, usinas de reciclagem, entre outros.

Há regiões onde há o interesse médio na preservação ambiental e baixo interesse urbano, o que as define como de interesse ambiental, mas com necessidade de investimentos de recuperação. Há regiões onde há o alto interesse ambiental e o médio interesse urbano, o que as define como de interesse ambiental, mas serão necessários cuidados de fiscalização e manutenção, uma vez que há certo interesse urbano fazendo pressão.

Há regiões onde há o médio interesse urbano e o baixo interesse ambiental, o que as define como de interesse urbano, porém com necessidades de investimento para que se tornem de fato atrativas. Há regiões onde há o alto interesse urbano e o médio interesse ambiental, o que as define como de interesse urbano, mas de uso sustentável, uma vez que deve ser considerada também a questão ambiental. Estas áreas têm vocações para APAs.

Nas condições de combinações de médios interesses da ocupação urbana e da preservação ambiental estão regiões classificadas como de transição ou de potencial de transformação. Elas são significativamente interessantes para o planejamento territorial, uma vez que são regiões onde realizadas ações de transformação elas não geram conflitos e têm o poder de gerar efeitos de irradiação de resultados. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 11.

### Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação Territorial

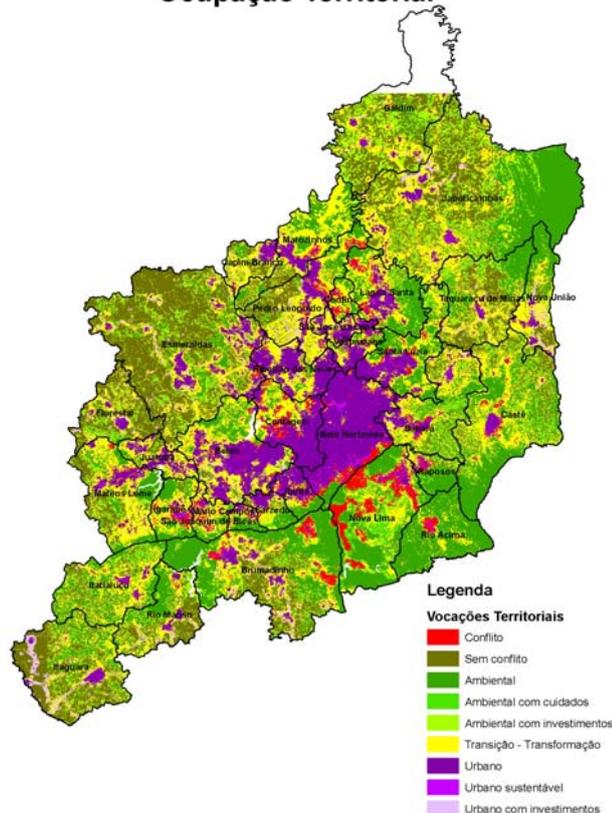


Figura 11 – Vocações de Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da RMBH

### 3. Potencial de Interação – estudos da rede de centralidades, acessibilidades e impedâncias no território da RMBH

O Potencial de Interação (PI) consiste num aplicativo desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento (LabGeo) da UFRJ que, através de um modelo gravitacional, calcula a interação entre pontos de referência de uma determinada área. O cálculo é feito a partir de uma massa informada pelo usuário e levando em conta a distância entre os pontos, que é percorrida pelos caminhos que os conectam dentro dessa rede e considera também as impedâncias ou atritos territoriais que facilitam ou dificultam o deslocamento. De acordo com Xavier-da-Silva (2001) o PI permite definir posições hierárquicas dos eventos estudados, no caso as centralidades econômicas, de modo a verificar seu interrelacionamento com as outras entidades da área de estudo, a partir de uma rede estruturada.

O trabalho adotou apenas com a rede rodoviária, a qual foi subdividida em: a) Existente; b) Proposta do Estado; c) Proposta do PDDI. Na rede rodoviária existente levou-se em consideração as rodovias e as principais vias urbanas, compostas por avenidas e vias arteriais. Quando necessário, as informações foram atualizados com base em imagens de

satélite RapidEye de 2009. Os pontos de referência, locais onde foram inseridas as massas para calcular o PI, foram sedes e distritos municipais e algumas localidades que foram identificadas nas pesquisas junto às prefeituras pela equipe USDEC-PDDI (Figura 12).

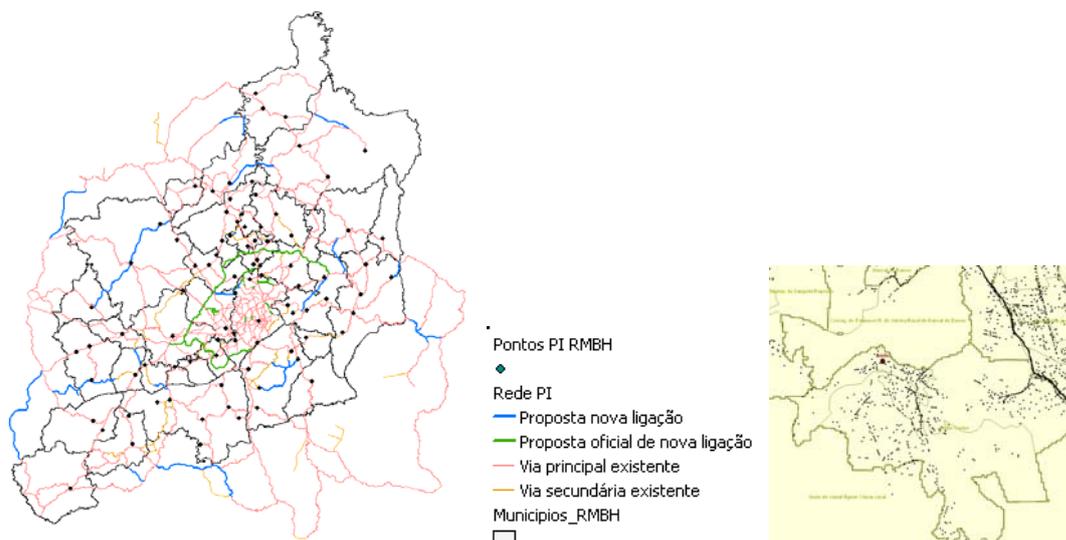


Fig. 12 – Rede rodoviária e pontos referência. Figura 13 - Postes da CEMIG e Áreas Homogêneas

A massa de cada ponto foi correspondente à quantidade de consumidores de energia elétrica que têm seu cadastro na CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais – definido como atividade comercial, de serviços ou industrial (Tabela 1). Esses dados foram retirados do número de ligação que cada poste da CEMIG, dentro da RMBH, faz para estabelecimentos que possuem esses fins. Como esses dados são pontuais e dispersos no território, foi necessário definir uma área de abrangência para cada ponto de controle da rede montada para o PI. A área de cada ponto foi definida pelo agrupamento de Áreas Homogêneas em *Campos*, unidade territorial comumente usada para fins de estudo e planejamento (Figura 13).

Buscou-se com isso uma massa que desse a noção da concentração de atividades comerciais, de serviços e industriais em cada região, o que é um dos retratos da dinâmica econômica de cada um desses pontos. É importante destacar que a coleção de dados por poste apresenta o número de ligações por poste por atividade, o que permitiu gerar quantitativos do conjunto de atividades por área. Foi discutida em reunião do PDDI a possibilidade de ponderar esses valores segundo o grau de importância da localidade, de modo a separar, por exemplo, uma atividade comercial de uma localidade de baixa influência de uma mesma atividade localizada em área de maior impacto no conjunto. Esta ponderação ainda será considerada.

Com a rede montada, os pontos definidos e com a massa associada, foi testado o PI em três diferentes cenários: 1 – Com as vias existentes; 2 – Com as vias existentes mais a proposta de novas vias do governo do estado; 3 – Com as vias existentes, propostas do

estado mais as propostas da equipe do PDDI. Os resultados, que demonstram as transformações na interação desses pontos na rede, estão expressos na Tabela 1 e são apresentados como mapas através da criação de Polígonos de Áreas de Influência.

Tabela 1 – Massa e resultados do PI para as diferentes situações de rodovias

<b>Ponto (sede, distrito, localidade)</b>	<b>Com., Ind., Serv., por Área Homog.</b>	<b>PI Rede Existente</b>	<b>Propostas Oficiais</b>	<b>Proposta PDDI</b>
Itaguara	3149	17	18	122
Rio Manso	292	8	9	129
Sta Terezinha de Minas	132	9	9	94
Itatiaiuçu	646	12	13	102
Azurita	276	39	39	150
Mateus Leme	2371	63	64	180
Serra Azul	245	16	17	123
Igarapé	3155	98	98	226
Sousa	108	8	8	124
Esmeraldas	1628	49	83	141
Florestal	641	14	14	129
Juatuba	1714	27	27	160
Melo Viana	420	47	91	153
Veneza	2796	108	174	233
Andiroba	85	36	76	192
São Joaquim de Bicas	1725	81	81	221
Brumadinho	2314	62	62	174
Conceição de Itagua	187	78	98	184
S. José do Paraopeba	45	153	160	165
Nova Contagem	3102	81	134	203
Aranha	105	207	208	210
Mário Campos	842	96	131	206
Betim	9959	120	172	243
Contagem	10659	514	683	689
Baldim	557	98	66	110
São Vicentr	229	103	70	115
Capim Branco	874	151	123	179
Matozinhos	4287	207	179	232
Mocambeiro	90	179	242	202
Lagoa de Sto Antônio	1493	108	223	186
Pedro Leopoldo	5575	188	223	276
Vera Cruz de Minas	245	117	158	214

Inácia de Carvalho	75	97	134	188
Doutor Lund	50	124	158	209
Confins	625	120	153	205
Areias	696	102	159	219
Ribeirão das Neves	3594	149	212	273
Sarzedo	1819	132	154	232
Ibirité	4154	135	159	230
Nova União	473	6	6	69
Roças Novas	199	21	32	84
Taquaraçu de Minas	243	25	37	63
Jaboticatubas	881	7	7	70
São José de Almeida	455	82	50	73
São José da Serra	28	18	32	72
Amanda	72	4	4	69
Fidalgo	222	98	47	98
Lapinha	180	107	54	108
Casa Branca	143	242	255	262
Jardim Canadá	1723	326	330	343
Seis Pistas	3592	377	410	406
Nova Lima	6020	446	462	474
Sabará	3220	692	714	659
Mestre Caetano	94	437	472	476
Caeté	3469	50	50	109
Penedia	21	18	28	77
Antônio dos Santos	51	15	24	79
Retiro do Chalé	440	226	235	239
Piedade do Paraopeba	61	235	241	242
Alfaville	616	260	272	272
Rio Acima	874	314	327	321
Macacos	398	287	301	304
Onório Bicalho	564	407	422	410
Raposos	1240	383	397	389
Morro Vermelho	41	26	26	83
Lagoinha de Fora	96	67	112	166
Lagoa Santa	7137	153	98	152
São José da Lapa	526	135	177	234
Vespasiano	3563	156	201	258
Jardim Encantado	748	123	165	222
Ravena	307	32	85	135

Bom Destino	361	461	449	452
Santa Luzia	3440	104	140	194
São Benedito	5743	199	249	308
Venda Nova	4326	419	200	255
Justinópolis	2449	124	193	255
Serra Dourada	1571	177	222	281
Morro Alto	1267	186	232	291
São Cosme	73	164	210	269
General Carneiro	2368	709	733	675
Belo Horizonte (Centro)	238905	2678	2698	2708
Parque Industrial	5132	531	703	708
Barreiro	5070	449	656	660
Pq. Durval de Barros	1399	140	171	260

### **3.1 Polígonos de Voronoi**

Uma vez estruturada a rede do PI e calculados os resultados de interação entre os pontos relacionados na tabela, foi promovida a construção da influência territorial desses pontos, através do modelo de Polígono de Voronoi. A construção de Polígonos de Voronoi consiste, basicamente, na delimitação de áreas de influência que levam em consideração a massa e a distância dos pontos de determinada área. Esse procedimento, realizado no software SAGA-LabGeo-UFRJ, considerou os mesmos pontos de referência do PI, porém com massas variadas.

De acordo com Xavier-da-Silva (2001) pode-se considerar os valores associados aos pontos de interesse (massa) juntamente com o espaço geográfico, com suas características físicas, para representar as tendências de a organização do espaço segundo a ocorrência de centros de influência, ou seja, a polarização do território; e a presença de características ambientais dominantes, indicadoras das possibilidades da ocupação humana e definidoras de certa regularidade paisagística, ou seja, região, zona ou área “homogênea”.

Primeiramente foram trabalhadas as mesmas massas utilizadas no PI, ou seja, a quantidade de comércios, serviços e indústrias por agrupamentos de áreas homogêneas, expresso no Mapa 1. Posteriormente foram elaboradas as áreas de influência dos pontos de acordo com os resultados três resultados obtidos no PI, ou seja: 1) PI com as vias existentes; 2) PI com vias existentes + proposta do estado; 3) PI com vias existentes + proposta do estado + proposta do PDDI.

### 3.2. Superfície de Atrito

Sabe-se que o território objeto de análise não é plano, tampouco é desprovido de obstáculos ou atritos aos deslocamentos de diferentes naturezas, desde os ambientais aos antrópicos. Por isso, a fim de se chegar a um resultado mais próximo da realidade, a delimitação das Áreas de Influências geradas pelos Polígonos de Voronoi, levou-se em consideração uma superfície de atrito, que corresponde a impedâncias espaciais, ou seja, fatores que impedem ou dificultam o acesso e a expansão urbana.

Essa superfície foi gerada por meio de cruzamentos de diversas variáveis:

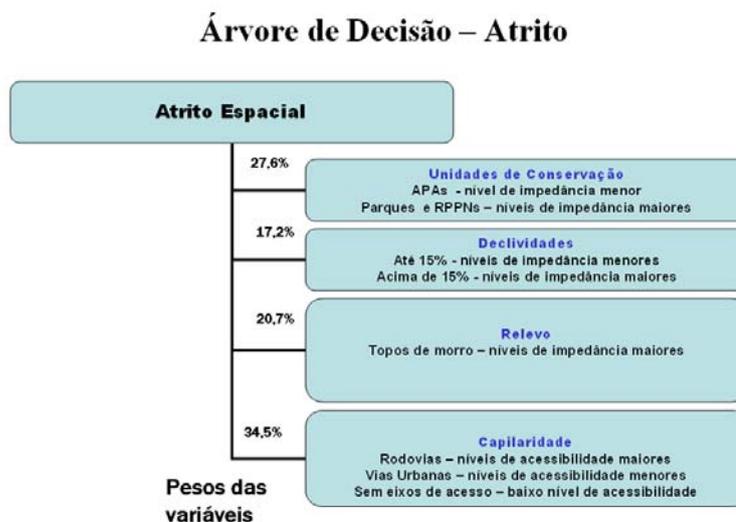


Figura 14 – Árvore de decisão para atrito espacial RMBH

**a)** Grau de Capilaridade: corresponde à densidade e ao tipo de vias existentes (urbanas, rodovias, avenidas ou arteriais). As áreas em vermelho são desprovidas de vias de acesso, enquanto as áreas em verde escuro possuem maior densidade de vias e/ou vias de maior capacidade. (Figura 15). **b)** Topografia: delimita faixas de maior altimetria (vermelho) indicando topos de morro, protegidos por legislação específica. (Figura 16).

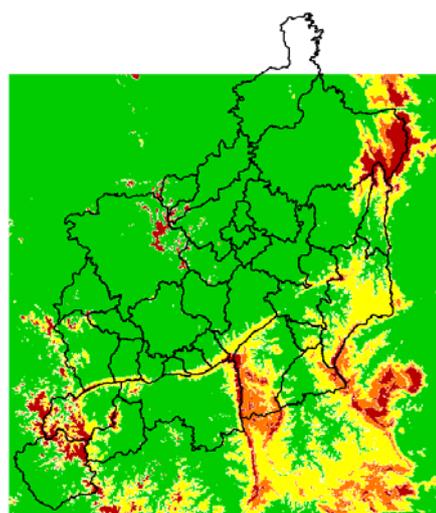
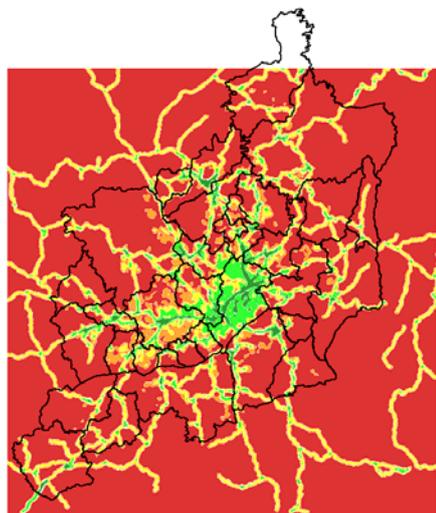


Figura 15 – Grau de Capilaridade. Figura 16 - Topografia com as faixas de maior altimetria.

**c)** Presença de unidades de conservação: indica as áreas de Proteção Integral (vermelho) e de Uso sustentável (amarelo), delimitadas por Parques, RPPN e Áreas de Preservação Ambiental. (Figura 17). **d)** Declividades: indica as áreas de maior declividade (vermelho a amarelo) e aquelas mais planas, com maior facilidade de acesso. (Figura 18).

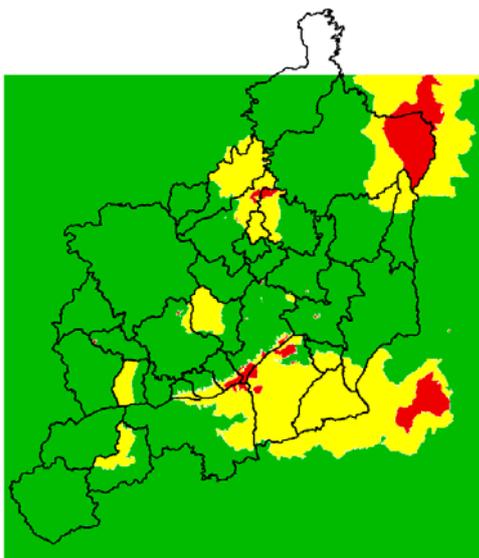


Figura 17 – Unidade de Conservação na RMBH

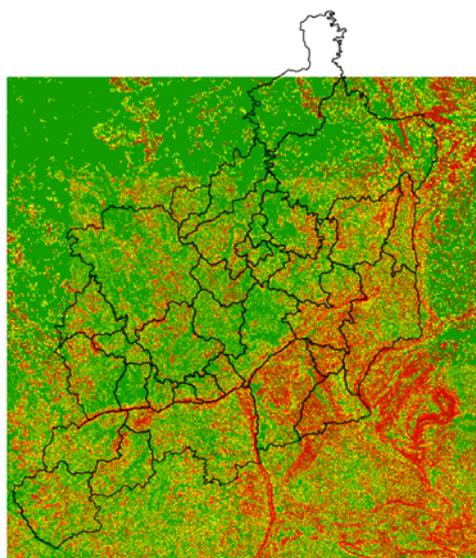


Figura 18 – Declividades na RMBH

Todas essas informações citadas foram cruzadas por meio de Análise de Multicritérios, o que nos proporcionou sintetizar esses fatores de modo a considerá-los como uma superfície de atrito para acessibilidade e expansão urbana. (Figura 19).

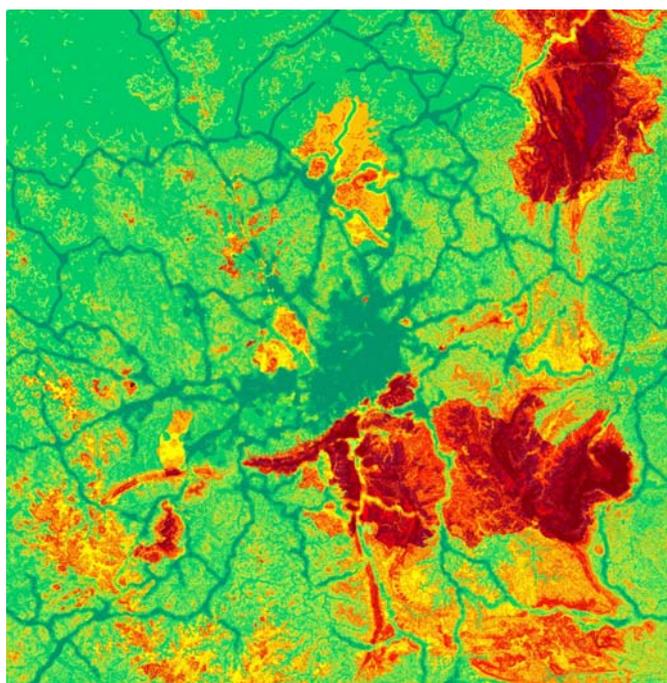


Figura 19 – Atrito espacial

### 3.3 Mapas de áreas de influência – Polígonos de Voronoi e Atrito Territorial

#### 3.3.1 Mapa de áreas de influência por concentração de atividades econômicas.

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: Quantidade de estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços por campos de áreas homogêneas.

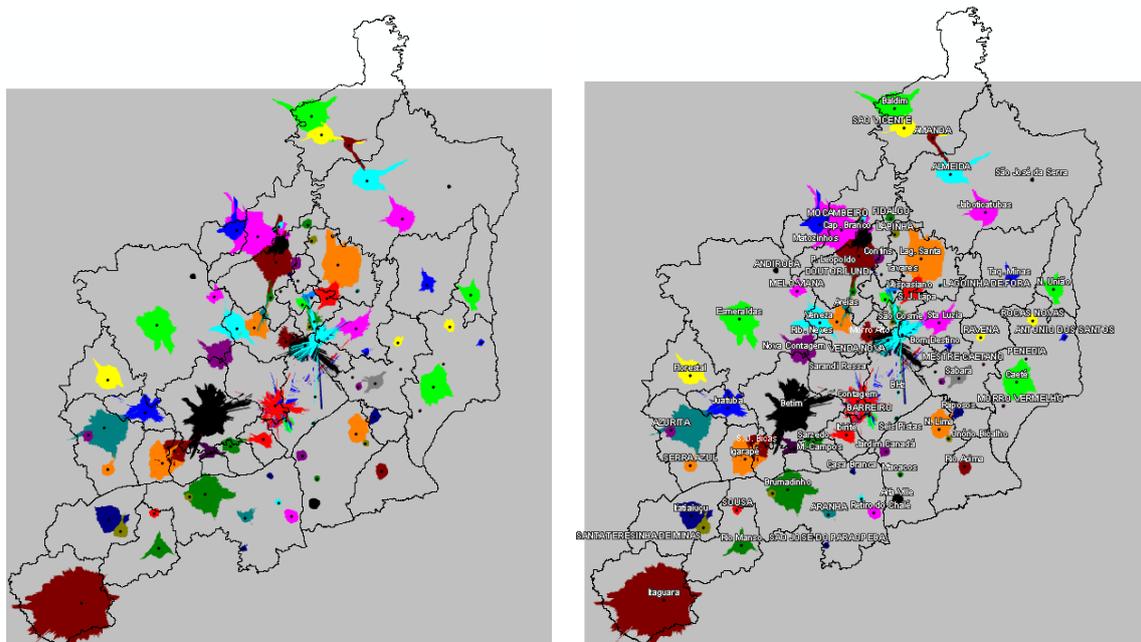


Figura 20 – Mapa de Áreas de influência por concentração de atividades econômicas

Observação: A área de influência de Belo Horizonte aparece, em todos os mapas, na cor cinza, dando o aspecto de plano de fundo. Isto porque a influência da capital é incomparável às demais localidades do conjunto, mas é importante observar como isto pode ser equilibrado com as atuações na estruturação da rede, ajuste das massas e consideração dos atritos ou impedâncias.

#### 3.3.2. Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes.

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: PI dado pelas vias existentes.

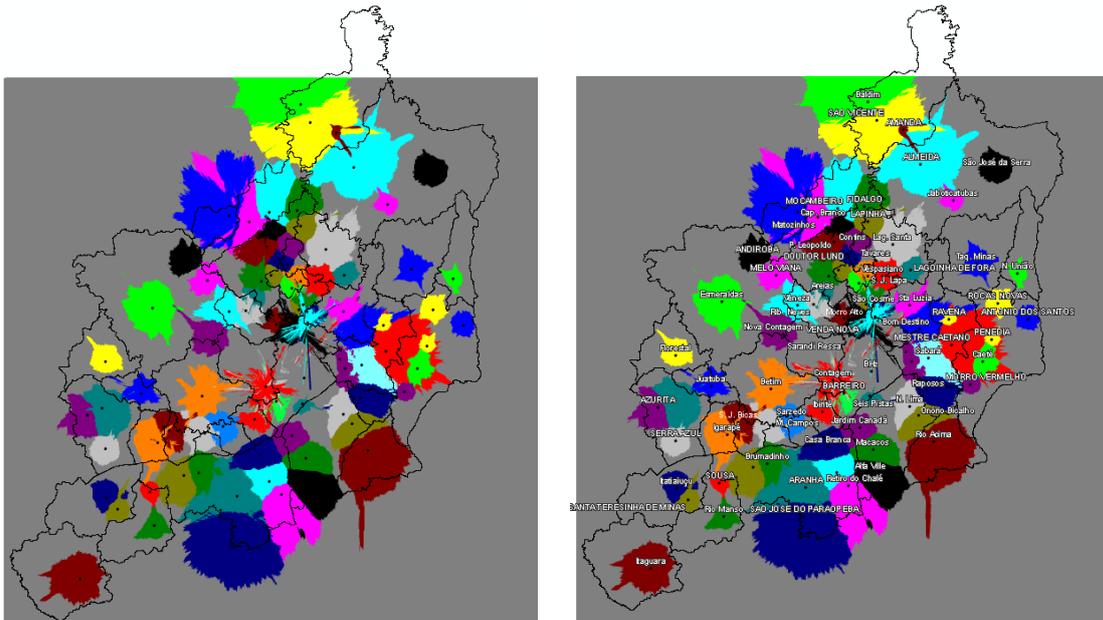


Figura 21 – Áreas de influência por PI de vias existentes.

### 3.3.3 – Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do estado.

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: PI dado pelas vias existentes + propostas do estado.

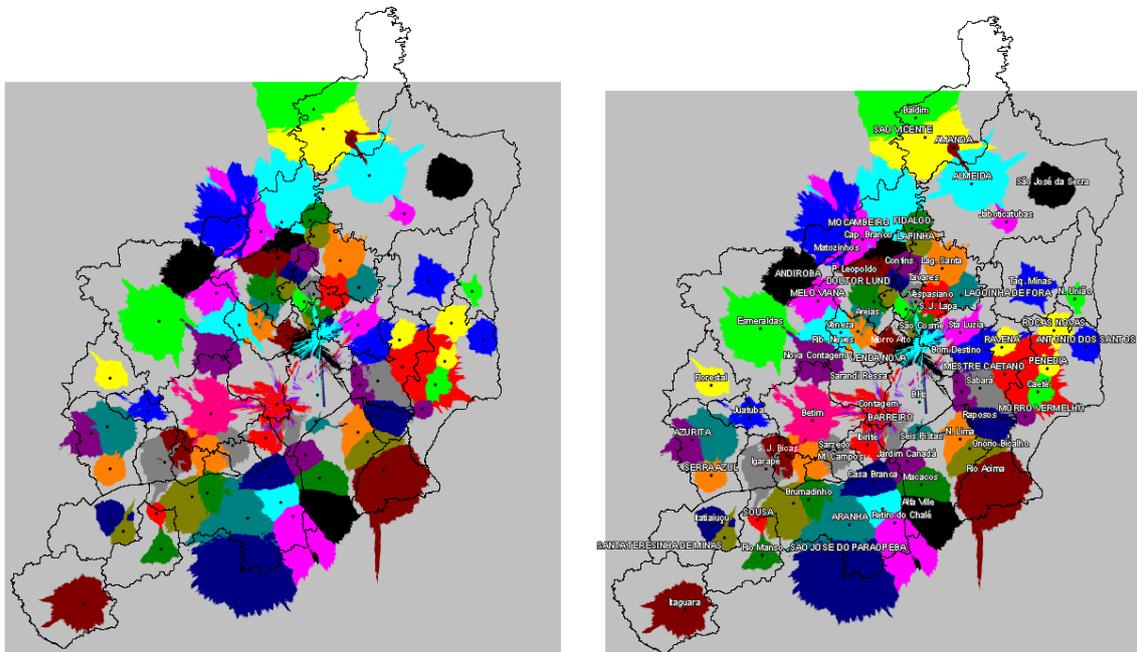


Figura 23 – Áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do estado.

### 3.3.4 Mapa de áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do estado + propostas do PDDI.

Método: Polígonos de Voronoi sobre superfície de atrito.

Massa: PI dado pelas vias existentes + propostas do estado + propostas do PDDI.

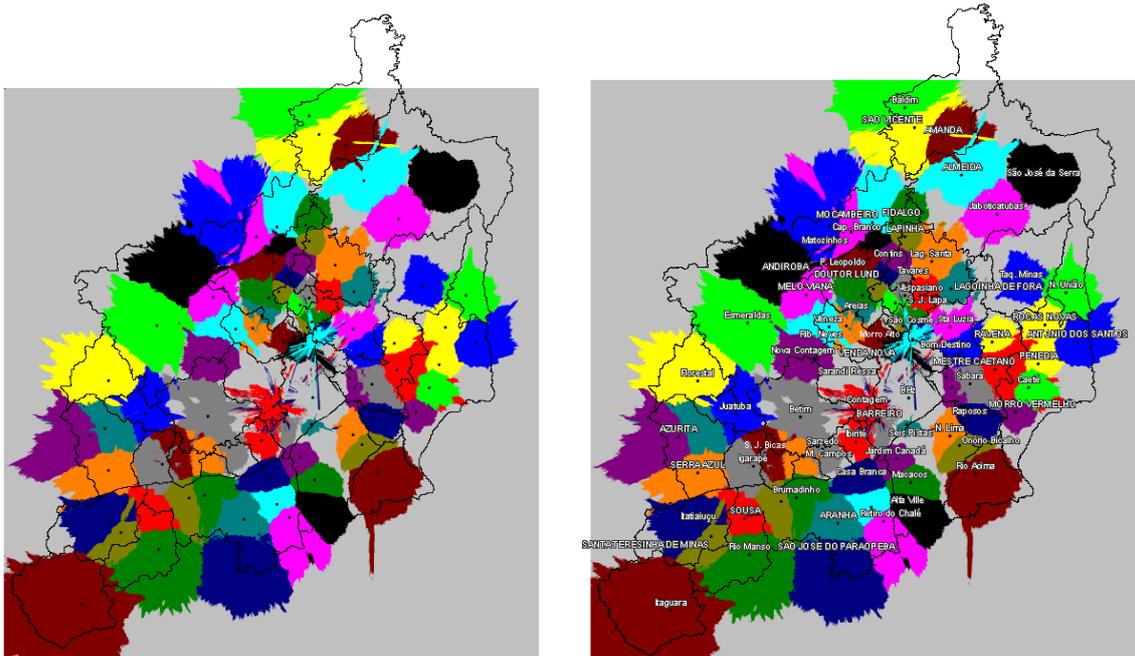


Figura 24 – Áreas de influência por PI de vias existentes + propostas do estado + propostas do PDDI.

#### 4. Conclusões

Todos os procedimentos apresentados têm como função apoiar o entendimento acerca das principais centralidades econômicas da RMBH e, também, simular a eficácia das propostas de criação de novos eixos rodoviários. Dessa maneira a equipe busca contribuir para o planejamento metropolitano.

Pôde-se perceber, analisando os resultados, que a atual distribuição das atividades econômicas na RMBH, bem como a configuração do sistema viário existente, promove o aparecimento de áreas de influências muito desiguais. Observa-se que a grande maioria dos núcleos urbanos sofre forte influência de seus vizinhos mais fortes. Muitos deles, mesmo os distantes, sofrem forte interferência de Belo Horizonte, o que comprova que a configuração da malha rodoviária da RMBH, radial com eixos centrífugos que saem de Belo Horizonte, reforça a influência da capital sobre toda a região.

A sucessão dos mapas gerados nas análises espaciais comprova que seria possível ter uma distribuição mais igualitária das áreas de influência, caso fossem implantadas novas vias. Contudo, vale discutir se é esse o modelo de gestão que o governo pretende adotar para a RMBH. A análise gerada não permite inferir sobre as discontinuidades e barreiras espaciais que surgirão com a criação de novas rodovias. Tampouco podemos afirmar sobre a melhoria do tráfego na região a partir da criação dessas. O modelo responde, sim, sobre a ampliação do acesso aos territórios e sobre o provável impacto sobre as localidades.

É possível alimentar o modelo estruturado com novos dados e realizar novas simulações, tais como a ponderação dos valores de massa em função da importância do ponto, a

simulação dos resultados da criação de novas vias, entre outros. O que podemos afirmar é que o modelo está estruturado, calibrado e validado, o que permite novos “inputs” e “outputs”, em função dos interesses de investigação do PDDI. Isto significa utilizar o geoprocessamento como ferramenta de apoio à tomada de decisões.

## **5. Agradecimentos**

Agradecemos à valiosa colaboração da CEMIG, pela concessão de dados do projeto GEMINI para as investigações do PDDI – Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

## **6. Referências bibliográficas**

MOURA, Ana Clara Mourão. Discussões metodológicas para aplicação do modelo de Polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência fenômenos em ocupações urbanas – estudo de caso em Ouro Preto – MG. In.: Anais do VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (ENABER), 7, 2009, São Paulo, *Anais...* São Paulo:FEA/USP, 2009.

MOURA, Ana Clara Mourão. *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. 2ª Ed. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005. 294p.

MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In.: Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis, *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 2899-2906. CD-ROM.

XAVIER-DA-SILVA, J. *O que é Geoprocessamento?* Revista do CREA-RJ 79, Rio de Janeiro, p. 42 - 44, 30 out. 2009.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.