

# Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG

Valéria Soares de Melo Franco  
Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais - IGC/UFMG

Allaoua Saadi  
Professor Titular do Departamento de Geologia - IGC/UFMG

Maria Márcia Magela Machado  
Professora Assistente do Departamento de Cartografia - IGC/UFMG

## Resumo

Este artigo aborda a aplicação de métodos de análise espacial como subsídio à avaliação do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG. Para o desenvolvimento da metodologia foi montada uma base de dados georreferenciados composta por imagens e bases cartográficas, dados populacionais, dados sobre estocagem de veículos, dados de contagem volumétrica de veículos e de origem/destino (O/D). Os dados foram tratados para a aplicação de um modelo para o cálculo de viagens geradas relativas a cada um dos prédios do Campus. Os resultados associados a um sistema estruturado em uma rede de interações espaciais – uma geo-rede – possibilitaram análises baseadas na geração de áreas de influência, utilizando algoritmos de rede e de matriz de adjacência. Para as análises foram utilizados o método de Polígonos de Voronoi e recursos disponíveis em modelos de análise de rede com a finalidade de estabelecer a relação entre oferta e demanda nos estacionamentos, localizar e distribuir o tráfego nas vias. Os resultados das análises permitiram identificar pólos de conflitos e suas interferências no sistema; regiões de disputa por estacionamento; locais onde há ociosidade de vagas e outros onde a demanda é maior que a oferta; vias e trechos de vias com os respectivos volumes de tráfego e a classificação em relação à intensidade de tráfego; e a determinação de áreas de sobrecarga do sistema viário.

**Palavras-chave:** Sistemas de Tráfego, UFMG, Geo-redes, Análises Espaciais.

## Abstract:

*This article approaches the application of spatial analysis methods as subsidy to the evaluation of the traffic system in the Campus Pampulha UFMG. For methodological development a composed data bank was set with images and cartographic bases, population data, vehicles storage data, field research generated data due to volumetric counting of vehicles and origin/destination (O/D) research. The processed data made possible the application of a pattern for calculating generated trips related to each one of the buildings in the Campus. The results associated to a system established upon a spatial interactions mesh - a geo-grid - made possible the analysis based on the generation of influence areas, using grid algorithms and adjacency matrix. For the analysis were used the Voronoi Polygons method and available resources in geo-grid analysis models for investigating the relation between supply and demand in parking lots, locating and distributing traffic among system lines. The analysis results made possible the identification of antithetical points and their interferences in the system; regions of parking dispute; places where it has vacancy in occupation and others where demand is greater than the supply; streets or sections with the traffic contents and the classification related to traffic intensity; and determination of areas where the system is overloaded.*

**Key-words:** Traffic Systems, UFMG, Geo-grid, Spatial Analysis.

Recebido 06/2011  
Aprovado 09/2011

vsoares@ufmg.br  
allaoua.saadi@gmail.com  
mmarciamm@ufmg.br

## Introdução

Ao longo dos anos, desde a data de sua implantação em sete de setembro de 1927, o Campus Pampulha, da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, vem sendo acrescido de construções de prédios para comportar unidades acadêmicas, unidades administrativas e para abrigar os serviços de apoio necessários ao funcionamento da Universidade. Em 1970, foi criado o Plano de Implantação do Sistema Básico, fruto da proposta governamental contida na então denominada Reforma Universitária. Assim sendo, foram construídos os prédios das Faculdades de Ciências Humanas, Letras, Biblioteconomia, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Física, entre outros. Escolas que funcionavam, até então, em edifícios na área central da cidade de Belo Horizonte foram transferidos para o Campus Pampulha. Equipamentos urbanos, tais como pequenas praças e abrigos para espera de ônibus, e edificações destinadas a serviços de apoio também foram construídos a partir da implantação dos novos prédios. Como consequência desses fatos, tem-se o aumento de fluxo de pessoas e veículos. No entanto, o sistema viário existente parecia comportar o novo tráfego gerado, embora não se tenha conhecimento de técnicas de medição e avaliações quantitativas do fenômeno neste período. No começo da última década, por meio de um convênio estabelecido entre o Ministério da Educação, a Universidade e o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Social), iniciou-se a implantação do chamado Projeto Campus 2000, no qual estava prevista a transferência para o Campus das Faculdades de Farmácia, de Ciências Econômicas, da Escola de Engenharia, com a construção de seus respectivos prédios, além da ampliação das várias unidades já instaladas no Campus. Estas transferências representaram um aumento significativo da população por serem escolas com uma estrutura funcional e um contingente de pessoas bastante representativo em termos numéricos. Como consequência deste aumento da população ocorreu um significativo aumento dos fluxos – de pessoas e de veículos automotores. Atualmente, no Campus da Pampulha, convive-se com problemas de tráfego tais como retenção nas horas de pico (horário de entrada e saída das atividades acadêmicas) e falta de áreas de estacionamento. A análise do sistema viário do Campus pode fornecer subsídios para a gestão do tráfego e permitir a viabilização de propostas para solução dos problemas existentes na atualidade e no futuro próximo.

## O planejamento de transportes

Atualmente os estudos referentes ao planejamento urbano e suas aplicações tem sido desenvolvidos através de uma abordagem multi e interdisciplinar e fazendo uso de análises espaciais complexas, utilizando modelos representativos da realidade cujas relações podem ser estabelecidas e quantificadas matematicamente.

No decorrer do século XX houve um rápido e crescente aumento na utilização de veículos motorizados, o que ocasionou maior movimentação dentro das cidades, requerendo novas maneiras de equacionar e solucionar as novas questões referentes ao planejamento urbano especialmente na área de transportes.

Segundo Bruton (1979), a estrutura básica para estudos de transportes envolvem uma etapa de pesquisas e análises que estabeleça a demanda atual por movimento, seu grau de atendimento, as relações entre essa demanda e o ambiente urbano; uma etapa de previsão e de formulação de um plano que projete a provável demanda por viagens – baseada nos dados coletados e nas relações

estabelecidas na etapa de pesquisas e análise, e que formule proposições que venham atender a essa demanda; e uma etapa de avaliação.

Em estudos sobre impactos no sistema viário e no tráfego, diversos conceitos já consolidados são amplamente utilizados como o de Pólo Gerador de Tráfego - PGT, que segundo Portugal & Goldner (2003), é definido como edificações ou instalações que exercem grande atratividade sobre a população, mediante a oferta de bens ou serviços, gerando elevado número de viagens, com interferências no tráfego do entorno e a necessidade de grandes espaços para estacionar ou para carga e descarga.

Os estudos e análises relativos ao processo de geração de viagens provêm de dados e estimativas que dizem respeito à movimentação de pessoas ou veículos, por determinado motivo, através de diferentes meios de transporte, em uma determinada hora do dia ou seja, contempla diferentes dimensões tais como a quantidade, a categoria de viagens e a dimensão temporal.

A principal referência para a geração de viagens são os trabalhos desenvolvidos pelo *Institut of Transportation Engineers - ITE*, lembrando que esse modelo gera estimativas para uma realidade norteamericana sendo, portanto, recomendável o uso de modelos elaborados em compatibilidade com as condições locais. É importante obter informações sobre o maior número possível de variáveis para determinar aquelas que melhor explicam e envolvem a geração de viagens.

A distribuição de viagens refere-se às ligações ou fluxos entre as várias vias do sistema de tráfego a ser analisado, para o qual os cálculos de geração de viagens foram realizados. Em outras palavras, o quantitativo de viagens geradas é distribuído espacialmente e alocado na rede de transportes, representando assim as complexas interações entre origens e destinos. Diversos métodos são utilizados na distribuição de viagens, entre eles os modelos gravitacionais que são comumente adotados. Fatores de atrito também chamados de fatores de resistência à viagem, são considerados nesses métodos.

A divisão modal pode ser definida como a divisão proporcional do total de viagens realizadas pelas pessoas, entre diferentes modos de viagens. É um estudo qualitativo para identificação dos diferentes meios de transporte que servem um PGT.

Existem na bibliografia disponível vários modelos de avaliação dos impactos no sistema viário causados por pólos geradores de tráfego. Alguns procedimentos e parâmetros fornecidos nas metodologias existentes foram adotados na metodologia proposta para as análises do tráfego no Campus Pampulha - UFMG. Observa-se que existe uma tendência à mudança de parâmetros nas metodologias brasileiras no que diz respeito às viagens por automóvel, que sofre um crescente aumento a cada ano. É essencial que a pesquisa seja efetuada visando à definição de modelos e parâmetros atuais e compatíveis com as especificidades de uma instituição educacional, como é a UFMG.

### **O sistema viário do campus UFMG**

O território do Campus da Pampulha é delimitado por vias externas com significativo volume de tráfego. Atualmente existem quatro portarias principais de acesso à área interna do Campus: nas avenidas Carlos Luz (Catalão), Abraão Caram, Antônio Carlos e Perimetral Sul. Além dessas portarias, o Campus possui uma portaria de acesso exclusivo à Escola de Veterinária, que não permite aos veículos o acesso direto à área interna do Campus e uma portaria com acesso restrito e controlado, situada próxima ao Departamento de Química e ao CDTN. A partir das portarias de acesso encontram-se as vias internas do Campus que compõem sua rede viária.

O sistema viário interno do Campus é constituído por ruas com pista de rolamento de 10 metros de largura, em calçamento poliédrico e calçadas de 5 metros. A Av. Reitor Mendes Pimentel possui duas pistas de rolamento com 9 metros de largura cada e canteiro central com 9 metros de largura, calçamento poliédrico e calçadas laterais de 5 metros de largura.

Há predominio de mão dupla nas vias do Campus, as interseções viárias internas são feitas por rotatórias, não há semáforos e nem sinais para travessia de pedestres. O sistema de circulação de pedestres constitui-se basicamente de calçadas pavimentadas ao longo das ruas e avenidas e de algumas travessias sinalizadas.

Os estacionamentos no Campus se encontram localizados junto aos edifícios e ao longo das diversas vias do sistema. Atualmente, o gerenciamento dos estacionamentos é de responsabilidade de cada unidade, sendo que algumas delas optam pelo controle de acesso dos veículos como forma de reservar as vagas para seus usuários. São comuns estacionamentos controlados com vagas ociosas enquanto as vias estão superlotadas com veículos estacionados.

## Metodologia

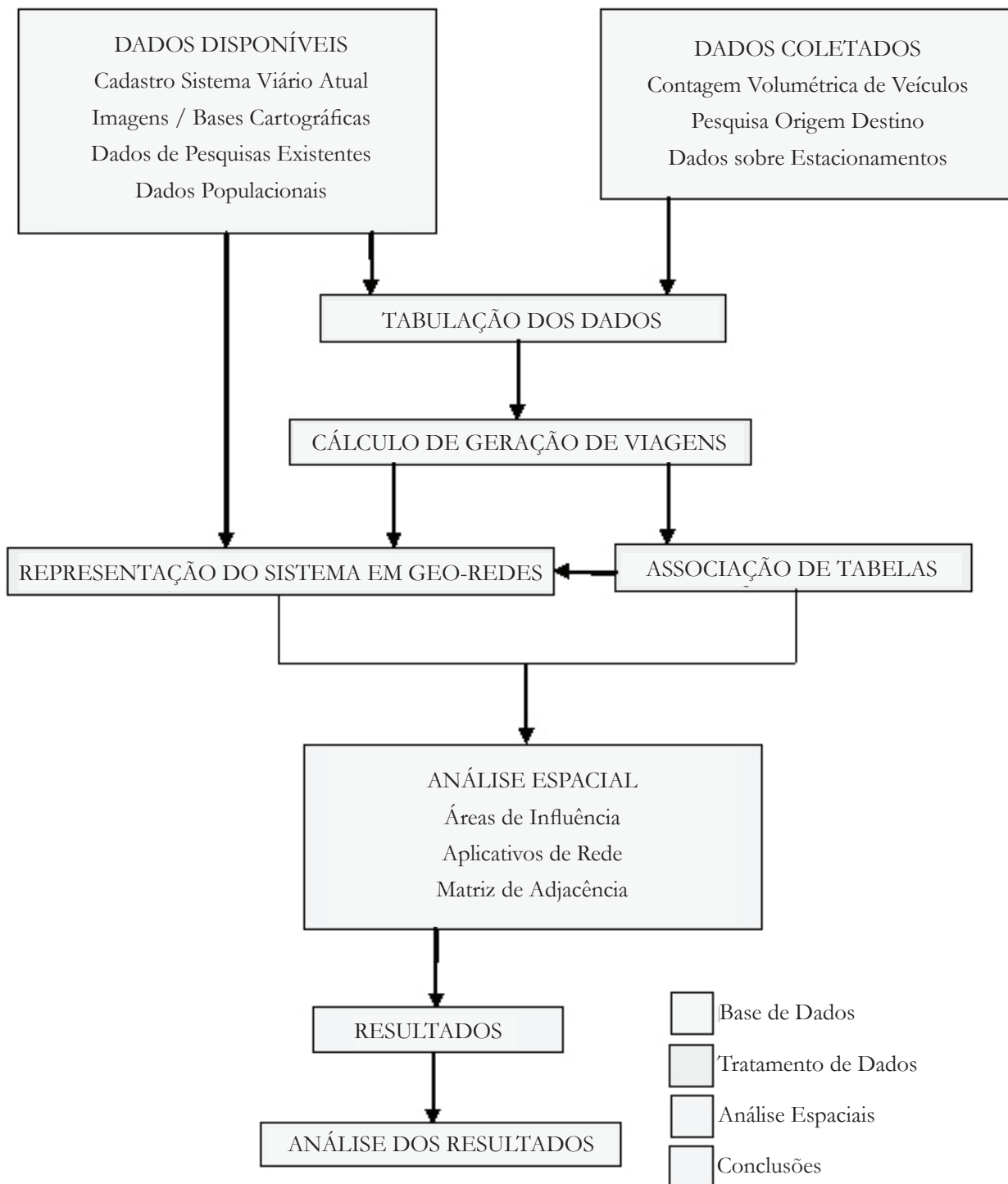
Um modelo pode ser compreendido como uma representação simplificada da realidade através da qual podemos descrever, com aproximações subjetivas, aspectos e processos complexos do mundo real. Segundo Christofletti (1999), é uma representação da realidade sob uma forma material, simbólica, abstrata.

A metodologia aplicada neste trabalho baseia-se nos conceitos de Análise Sistêmica Ambiental apoiada por ferramentas que permitem ordenar e apresentar as informações espacializadas, suas relações entre si e com o meio onde ocorrem.

As análises espaciais propostas neste trabalho baseiam-se no conceito de um sistema representado em geo-redes, ou seja, estruturado em uma rede de interações espaciais. Nesta forma de representação dos fenômenos é possível identificar os agentes e suas relações distribuídas no espaço, explicitando sua densidade ou mesmo demonstrando suas preferências ou fragilidades. Foram utilizados softwares com recursos aplicáveis ao conceito de rede que possibilitam o tratamento e simulação de dados espaciais que ocorrem dentro de um determinado sistema de fluxos, sendo no estudo em questão, o fenômeno de fluxos de trânsito.

De acordo com as metodologias estudadas (metodologias do United States Department of Transportation, do Institute Transportation Engineers, da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, de Grandó, de Cybis et al., Espanhola, de Menezes, de Portugal & Goldner) e os conceitos nelas considerados, foi elaborada uma metodologia na qual se considera como um pólo gerador de viagens, cada unidade institucional instalada em um prédio do Campus Pampulha. Cada um desses pólos é caracterizado com seus atributos particulares nas análises espaciais e é representado como um nó ou ponto gerador pertencente a uma rede de tráfego, a partir do qual é considerado o volume de tráfego gerado na área. Considerando estes conceitos preliminares e utilizando tecnologias de geoprocessamento, foi elaborado um modelo que representa o sistema a ser analisado. As etapas da metodologia aplicada são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1: Fluxograma da metodologia



## Base de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa advêm de bases de dados disponíveis obtidos em diversas fontes (UFMG, Prefeitura de BH, Prodabel) e dados coletados por meio de pesquisas e levantamentos *in loco*. Para determinação de parâmetros atualizados foram utilizados dados populacionais referentes ao ano de 2010 e com dados de pesquisas de contagem volumétrica de automóveis executadas nas portarias do Campus e de origem/destino (O/D) considerando como origem as portarias de entrada e saída e como destino as diversas unidades prediais localizadas no Campus.

Inicialmente o território do Campus foi identificado e caracterizado e o sistema viário existente foi cadastrado. Para o cadastro foram utilizadas bases disponibilizadas pela UFMG, plantas cadastrais (no formato digital DXF) nas quais estão representados os elementos do sistema viário tais como ruas, avenidas, portarias de acesso, pátios de estacionamento e outros elementos como edifícios e quadras. As imagens de satélite utilizadas foram imagens de alta resolução IKONOS.

Os dados sobre a população do Campus Pampulha foram coletados objetivando obter informações do usuário por tipo – professor, aluno e funcionário, distribuídos por prédio. Os dados coletados são referentes ao ano base de 2010 e foram obtidos junto a diversos órgãos da Universidade.

Os dados sobre capacidade e utilização de estacionamentos foram obtidos no Estudo de Ocupação dos Estacionamentos do Campus Pampulha (2009/2010) e das Diretrizes Gerais para as Questões de Trânsito, Transportes e Estacionamentos no Campus Pampulha (2010). Os dados sobre localização e dimensões de vias e estacionamentos foram pesquisados em arquivos do Departamento de Projetos da UFMG e confirmados em levantamentos de campo.

Os dados referentes à contagem volumétrica de veículos foram coletados em um dia típico da semana, no período de aulas, no horário compreendido entre 7:00 e 19:00. A contagem foi realizada simultaneamente nas cinco portarias do Campus: Av. Antônio Carlos, Av. Abraão Caram, Av. Carlos Luz, Av. Perimetral Sul/entrada da Engenharia e entrada do Depto. Química.

A pesquisa origem/destino (O/D) foi realizada na mesma data da coleta de dados para a contagem volumétrica feita nas portarias e os dados foram coletados em cada um dos quarenta e cinco prédios do Campus, no horário determinado em pesquisas anteriores como sendo o horário de pico: 7:00 as 9:00. A pesquisa O/D considerou como origem as portarias e como destino as diversas unidades/prédios do Campus e foram entrevistados em cada local cinco por cento da população. Integraram a pesquisa perguntas que permitiram estabelecer o perfil do usuário quanto ao modo de transporte utilizado, categoria/ocupação, renda e preferência de local para estacionar veículos.

## Tratamento dos dados

A população do Campus, para efeito das análises, foi distribuída por prédio para que a partir dela, fosse calculado o número de veículos que se destinam ao local e que utilizam os respectivos pátios de estacionamento. A partir destes valores calculados foi determinado o número de alunos de graduação e pós-graduação equivalentes a alunos em tempo integral (8 horas diárias), estabelecendo dessa maneira, a mesma unidade de medida para alunos, funcionários e professores no cálculo do número total de usuários por edificação.

Os estacionamentos existentes no Campus foram classificados em duas categorias: vinculados aos prédios e disponíveis ao longo das vias públicas. Os primeiros podem ser controlados ou não pela

administração de cada prédio e geralmente se localizam próximos ou contíguos às edificações. Os estacionamentos ao longo das vias se referem às vagas em locais permitidos para este uso.

Da pesquisa de contagem volumétrica executada foi possível obter quantitativos referentes ao volume de entrada e saída de veículos em cada portaria no período total de contagem ou frações de tempo em que foi feito o levantamento. Assim foi identificado o horário de pico de acesso ao Campus como sendo de 7:00 as 9:00, intervalo que foi utilizado como horário para análise de tráfego neste trabalho.

Os dados levantados na pesquisa O/D dos usuários possibilitaram estabelecer, por prédio, os quantitativos e porcentagens referentes aos veículos e à distribuição dos mesmos em relação à portaria de origem. Os resultados da tabulação de dados permitiram também o cálculo das porcentagens em relação à divisão modal (divisão entre os modos de transporte utilizados) e sua utilização por categoria, a utilização de caronas em automóveis alheios, além de dados do perfil do usuário.

### Cálculo de geração de viagens

O modelo a ser incorporado na metodologia de trabalho foi o mesmo utilizado em 2003 para estudos dos Relatórios de Impacto na Circulação (RIC) da Escola de Engenharia e da Faculdade de Ciências Econômicas. A adoção deste modelo levou em consideração características específicas da Universidade no que diz respeito ao estabelecimento de índices e taxas, resultantes de levantamentos “*in loco*”. Os resultados da pesquisa de contagem volumétrica de veículos nas portarias do Campus e da pesquisa OD realizada com os usuários de cada unidade possibilitaram a atualização dos parâmetros:

- Taxa de viagens atraídas por usuário por dia (TA) = 1,10, considerando o total de viagens atraídas por dia e o total de usuários por dia (quantidade de viagens / quantidade de usuários);
- Fator horário de pico (FHP) = 0,30, significa o percentual de viagens neste intervalo de tempo, considerando o total de automóveis no período de pico e o total de viagens atraídas por dia (quantidade de viagens no pico / quantidade de viagens ao dia);
- Taxa de rotatividade de usuários no horário de pico (TU) = 0,25, significa o percentual de viagens considerando o total de viagens atraídas e o total de viagens produzidas no intervalo de tempo de pico. Este percentual se refere ao somatório de automóveis cujos usuários utilizam o território do Campus como passagem para outros destinos ou se caracterizam como público externo.

O modelo utilizado para cálculo de Geração de Viagens no Horário de Pico (Vg = viagens geradas) decorrente da aplicação desses parâmetros traduz-se na seguinte equação:

$$Vg = TA \times NU \times FHP \times (1-TU)$$

Para a análise foi calculado o Vg para cada unidade do Campus. Os resultados destes cálculos são apresentados na Tabela 1.



Tabela 1: Viagens geradas no horário de pico por prédio

<b>UNIDADES / PREDIOS</b>	<b>Vg</b>
Artes Cênicas	28
Biblioteca Universitária	52
CDTN	104
Centro de Microscopia	6
Centro de Pesquisas Hidráulicas	6
Centro Pedagógico	28
Colégio Técnico	36
CPDEE	12
Departamento de Física	70
Departamento de Logística	44
Departamento de Química	88
Divisão de Áreas Verdes	6
DPPF / DEMAI / ASSUFEMG	45
Escola de Belas Artes	115
Escola de Ciências da Informação	77
Escola de EEEFTO	228
Escola de Engenharia	765
Escola de Música	74
Escola de Veterinária	99
Escritório Campus 2010	10
Estação Ecológica	8
Faculdade de Ciências Econômicas	162
Faculdade de Educação	176
Faculdade de Farmácia	148
Faculdade de Letras	210
Faculdade de Odontologia	145
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas	406
Imprensa Universitária	8
Instituto de Ciências Biológicas	252
Instituto de Ciências Exatas	224
Instituto de Geociências	150
Lab. Ensaio de Combustíveis	6
Lab. Extra Alta Tensão	11
Posto de Gasolina	3
Praça de Serviços	70
Reitoria	112
Restaurante Setorial II	20
Serralheria	7
UMEI	16
Unidade Administrativa II	94
Unidade Administrativa III	43
<b>TOTAL</b>	<b>4164</b>
<i>Vg - Viagens Geradas no Horário de Pico</i>	



## Distribuição das viagens geradas

As porcentagens apuradas na pesquisa O/D para os dados referentes à portaria de origem, para cada destino separadamente, foram aplicadas ao número de viagens calculado gerando os dados apresentados na Tabela 2, que mostra a distribuição e origem das viagens geradas por prédio.

Tabela 2: Origem e destino de automóveis no horário de pico

	PORTARIAS / ORIGENS					
	A CARLOS	CATALAO	A CARAM	ENG	QUIM	TOTAL
Artes Cênicas / TU	14	5	9	0	0	28
Biblioteca Universitária	33	19	0	0	0	52
CDTN	8	32	16	16	32	104
Centro de Microscopia	0	2	2	0	2	6
Centro de Pesquisas Hidráulicas	0	0	0	3	3	6
Centro Pedagógico	9	5	14	0	0	28
Colégio Técnico	4	4	4	0	24	36
CPDEE	0	6	0	0	6	12
Departamento de Física	14	32	19	5	0	70
Departamento de Logística SO	10	5	29	0	0	44
Departamento de Química	15	29	15	0	29	88
Divisão de Áreas Verdes	4	0	2	0	0	6
DPFP / DEMAI / ASSUFEMG	18	0	27	0	0	45
Escola de Belas Artes	70	10	25	10	0	115
Escola de Ciências da Informação	36	14	18	9	0	77
Escola de EEEFTO	43	174	11	0	0	228
Escola de Engenharia	191	341	62	150	21	765
Escola de Música	41	11	22	0	0	74
Escola de Veterinária / Hospital	0	99	0	0	0	99
Escritório Campus 2010	5	5	0	0	0	10
Estação Ecológica	3	5	0	0	0	8
Faculdade de Ciências Econômicas	39	30	20	73	0	162
Faculdade de Educação	90	57	10	19	0	176
Faculdade de Farmácia	38	87	19	4	0	148
Faculdade de Letras	66	66	66	12	0	210
Faculdade de Odontologia	25	110	5	5	0	145
Faculdade Filosofia C. Humanas	177	133	51	45	0	406
Imprensa Universitária	3	0	5	0	0	8
Instituto de Ciências Biológicas	59	30	53	22	0	164
Instituto de Ciências Exatas	55	84	30	25	30	224
Instituto de Geociências	45	65	20	15	5	150
Lab. Ensaios de Combustíveis	2	0	4	0	0	6
Lab. Extra Alta Tensão	0	7	4	0	0	11
Posto de Gasolina	2	0	1	0	0	3
Praça de Serviços	10	45	5	5	5	70
Reitoria	56	24	32	0	0	112
Restaurante Setorial II	13	7	0	0	0	20
Serralheria / Pintura / Vidraçaria	6	0	1	0	0	7
UMEI	16	0	0	0	0	16
Unidade Administrativa II	33	5	42	14	0	94
Unidade Administrativa III	14	0	19	10	0	43
<b>TOTAL</b>	<b>1267</b>	<b>1548</b>	<b>662</b>	<b>442</b>	<b>157</b>	<b>4076</b>
<i>A CARLOS - portaria da Av. Antonio Carlos</i> <i>CATALÃO - portaria da Av. Carlos Luz</i> <i>A CARAM - portaria da Av. Abraão Caram</i> <i>ENG - portaria da Av. Perimetral Sul próxima à Escola de Engenharia</i> <i>QUIM - portaria da Av. Perimetral Sul próxima ao Depto. de Química</i>						

## Representação do sistema viário em geo-redes

As linhas e nós correspondentes ao sistema viário do Campus Pampulha foram digitalizados a partir de uma imagem *Ikonos* georreferenciada. Na geração da rede correspondente a esse sistema viário, cada via do sistema foi representada e composta por vários segmentos de linhas interceptados por nós que representam os cruzamentos de vias, as entradas para os prédios e as divisões da via em trechos estacionáveis. Desta maneira é possível conectar à rede os elementos do sistema e estabelecer relações entre os elementos fixos e os fluxos. A esta rede foram associadas as tabelas de atributos para auxiliar nas análises espaciais.

## Análises espaciais

As análises baseiam-se na geração de áreas de influência, em aplicativos de rede e em matriz de adjacência. Foram utilizados os softwares ArcGIS, SAGA/UFRJ, SPRING/INPE e TransCAD.

## Análise de áreas de influência

A geração de áreas de influência foi executada utilizando Polígonos de Voronoi, também conhecido como de *Thiessen*, que considera a proximidade do ponto às fontes geradoras para gerar um polígono cujas distâncias entre a fonte e o ponto são sempre as menores possíveis (Xavier, 2001). Em uma primeira análise foi considerado cada unidade predial como fonte geradora e a massa como a quantidade de viagens geradas que representa a demanda por estacionamento, fatores determinantes na conformação de suas áreas de influência. Na segunda análise foi considerada a mesma massa em cada ponto gerador e como atrito a disponibilidade de vagas em locais disponíveis como áreas para estacionamentos – pátios e vias. Foram estabelecidos critérios para atribuição de pesos/notas aos atritos agrupando os estacionamentos de acordo com a capacidade de vagas. Assim, locais com maior capacidade receberam nota menor significando baixo atrito e maior atratividade.

## Análise de distribuição de demanda utilizando aplicativos de rede

Utilizando aplicativos computacionais disponíveis em modelos de análise de rede foi adotada a função de alocação de recursos para proceder à análise da relação de oferta e demanda nos estacionamentos. A alocação de recursos é uma função que identifica uma zona de influência de um centro ou objeto pontual. Este centro fornecedor ou receptor tem um valor de demanda associado.

A alocação de recursos foi calculada a partir do objeto de referência – a unidade geradora de viagens, e as direções de fluxos consideradas foram aquelas que partem da fonte para distribuição da demanda através da rede. Os locais para estacionamentos localizados ao longo da rede recebem uma demanda a ser alocada. Neste caso, o recurso disponível (quantidade de veículos) é transportado através da rede, partindo do prédio, para satisfazer a demanda por estacionamento. Na modelagem da rede, a impedância associada a cada elemento linear para mover-se na rede foi a distância em metros.

## Análise de distribuição de tráfego utilizando matriz de adjacência

Um dos recursos disponíveis em modelos de análises de rede é a matriz de adjacência que, estabelecendo relações entre os nós da matriz encontra o caminho mínimo no sistema. Foi adotada a

matriz de alocação de tráfego utilizando como dados de entrada os gerados pela pesquisa de O/D, identificando assim, os nós de origem e os nós de destino na rede.

O sistema viário do Campus apresenta nos elementos que o compõem, características similares tais como largura de pista de rolamento e calçamento poliédrico, com exceção da Av. Reitor Mendes Pimentel que possui pista dupla. Também não possui vias com grandes declividades que representem fatores inibidores do tráfego. Por esta impossibilidade de diferenciação e, portanto, de classificação, não foi considerado na análise a existência de atritos inerentes ao sistema viário e foi considerado a opção do menor caminho como característica prioritária. Através dos dados de origem/destino inseridos na matriz foram processados os caminhos mínimos para cada trecho e assim foi possível localizar e distribuir o volume de tráfego no horário de pico. Com a finalidade de classificar as vias em relação à intensidade de tráfego foram definidos seis intervalos para este volume de tráfego. Como alternativa para a análise de distribuição do tráfego foi utilizado o método de “quebra natural” para nova classificação das vias em relação à intensidade de tráfego.

## Resultados

Na aplicação do polígono de Voronoi somente considerando massa é esperado que as áreas de influência sejam proporcionais às massas respectivas de seus pontos geradores. As mudanças ocorridas em relação às expectativas destes resultados devem ser observadas porque possuem um significado. Massa pequena e área de influência grande em relação aos demais pontos geradores significa que neste local existe pouca concorrência para ocupação de vagas para estacionamento. Massa grande com área de influência pequena significa que o espaço está sendo disputado com os outros pontos da vizinhança.

Foi verificado que na área central existe uma disputa por espaço porque apesar de grandes massas em alguns pontos, a área de influência correspondente é pequena. É o caso da FAFICH que juntamente com a Escola de Engenharia se caracterizam como exportadores de veículos, uma vez que as suas respectivas áreas de influência estão segmentadas e ocupando locais onde há concorrência. O resultado nos dois casos demonstrou insuficiência do seu espaço próprio ocasionando disputa por espaço, impacto em relação aos concorrentes e redução da influência territorial dos outros.

A FALE e o ICEX possuem massas similares, respectivamente 210 e 224, no entanto, a área de influência do ICEX é menor porque a área disputada em seu entorno é menos favorável à expansão. O mesmo resultado foi observado comparando-se os pares FACE e FAE, Reitoria e EBA, ECI e Escola de Música, que também possuem massas similares sendo que a área de influência das primeiras é sempre menor.

As Artes Cênicas e o CP possuem mesmo valor de massa porém o primeiro apresentou menos possibilidade de expansão (área de influência menor) devido à EBA que possui massa e área de influência bem maiores gerando conflito.

O IGC e o CP possuem áreas de influência de tamanhos similares porém o primeiro tem uma massa bem mais significativa (150 e 28), devido ao fato do IGC se encontrar localizado em região de grande concorrência.

O ICB e a EEFFTO possuem massas e áreas de influência grandes. O ICB se situa numa região de grande concorrência e, por causa do alto valor de sua massa, as áreas de influência de seus concorrentes são inibidas, exercendo um predomínio sobre a vizinhança. A mesma situação ocorre com

a FAR e a FAO que possuem praticamente a mesma massa porém a primeira disputa área com seu vizinho ICB tendo em consequência disso uma área de influência bem menor que a segunda, que se encontra numa região menos concorrida.

Concluindo, é evidente a grande disputa entre as unidades que se localizam na parte central do Campus e algumas disputas setoriais, sendo a mais notória aquela da Escola de Belas Artes com a sua vizinhança.

Em resultados de Voronoi com massa e atrito há um favorecimento ou uma restrição relativos à ocupação ou seja, quando não existe atrito, há expansão. Devido às possibilidades de estacionar representadas pela classificação dos atritos, ainda que a massa de um ponto gerador seja pequena, a sua área de influência poderá ser aumentada em relação à análise anterior (Voronoi com massa). Foi verificado que nas áreas onde não há conflito, as áreas de influência permaneceram similares às anteriores, notando-se que há expansão onde há pouca concorrência mesmo em locais com pouca massa como, por exemplo, na Estação Ecológica. Ali houve um aumento da ocupação devido à existência de áreas de baixo atrito, que é representado pela expansão de sua área de influência.

Em locais onde existe conflito, a área de influência se expande em direção às áreas de menor atrito nas quais se estabelece uma disputa pelo território. A direção referente às deformações das áreas de influência de uma unidade geradora de massa indica pouco atrito ou seja, a possibilidade de estacionar. Segundo a classificação dos atritos decorrente das notas atribuídas e da distância, que é fator inerente ao algoritmo de Voronoi, as deformações indicam a possível ocupação de áreas/vagas naquele sentido.

Desta maneira verificou-se que a FAFICH ocupa áreas anteriormente destinadas à Reitoria, à FALE e à EBA. A área de influência da EBA por sua vez é invadida e sofre influências da FAFICH, Artes Cênicas, DSG e DEMAI, seus vizinhos que disputam vagas para estacionar.

Do mesmo modo, a Reitoria invade a área de influência da FAFICH e da Praça de Serviços, enquanto o ICEX invade a área da FACE e Escola de Engenharia.

As áreas de influência que na análise dos resultados descritos anteriormente ocupavam apenas o entorno do ponto gerador de massa, apresentaram-se deformadas demonstrando ocupação de locais onde há menor atrito e disputa pelo território. Em regiões próximas aos limites do Campus (fora da área central) a situação permaneceu a mesma em relação à análise de áreas de influência considerando somente a massa.

Foi detectada a existência de três pólos de conflitos que sofrem grandes interferências entre si, um na região central do Campus, outro na região da EBA e vizinhança e outro representado pela Escola de Engenharia, que tem sua área de influência expandida em todas as direções de baixo atrito.

Para melhor visualização dos resultados, o mapa do Campus Pampulha foi dividido em quatro áreas – A, B, C e D, levando em consideração as relações de influência verificadas.

O resultado da análise espacial de alocação da demanda de estacionamento permitiu identificar locais no Campus onde há ociosidade de vagas para estacionar e outros onde a demanda é maior que a oferta de vagas. Foi considerada a oferta de vagas referente a um determinado prédio ou Unidade aquela que corresponde à capacidade ou número de vagas de seu(s) respectivo(s) estacionamento(s). As vagas ociosas referem-se às vagas que sobram e as vagas pendentes às que faltam. As vagas pendentes implicam na utilização de outro local fora do estacionamento do prédio para estacionar, podendo ser uma via ou o estacionamento de outro prédio. Como utiliza-se o caminho mínimo para

mover-se na rede e fazer a alocação das vagas, estas são ocupadas para suprir a demanda de acordo com a distância que se encontram da origem. As mais próximas são ocupadas prioritariamente, independente se estão na via ou em um pátio de estacionamento e desde que já não estejam ocupadas em atendimento a uma demanda de uma origem mais próxima a elas.

Na primeira área considerada foi verificado que existem vagas pendentes (demanda maior que a oferta) apenas na EEEFTO que foram alocadas no estacionamento da FAO onde existem vagas ociosas. Na segunda área não foi verificada a pendência de vagas em nenhum local. Na terceira área verifica-se pendência na FALE, ECI, FAFICH, ICEX, Escola de Engenharia e Departamento de Física. Na quarta área verifica-se pendência no ICB, BU, EBA, DEMAI, Departamento de Áreas Verdes, Artes Cênicas, Serralheria e Posto de Combustível.

Na Tabela 3 encontra-se as informações acima descritas e a discriminação da alocação de vagas pendentes nos estacionamentos e nas vias. É importante salientar que a coluna referente às vagas ociosas, quando diferente de zero, significa que existe uma ociosidade em relação à unidade de origem da demanda. Estas vagas ociosas podem ou não estar sendo ocupadas por usuários de outros prédios. Portanto, o somatório de vagas ociosas apresentada na Tabela 3 não significa a situação real de ocupação dos estacionamentos.

Tabela 3: Ocupação de estacionamentos

LOCAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS	CAP	VO	VO %	VP	VP	ALOC_VP
Almoxarifado Central -AC	40	0	0%	0	-	
Artes Cênicas - ARC	16	0	0%	12	-	Rua Prof. Francisco de Assis
ASSUFEMG - ASS	22	0	0%	0	-	
CDTN	300	196	65%	0	-	
Centro de Microscopia - MIC	12	6	50%	0	-	
Centro Pedagógico - CP	60	32	53%	0	-	
CPDEE	15	3	20%	0	-	
CPH	12	6	50%	0	-	
Dep. Química - QUI	70	0	0%	0	-	
Departamento de Física - FIS	45	0	0%	25	-	Rua Prof. Giorgio Schreiber
Departamento de Logística - DSG	75	31	41%	0	-	
Departamento de Química / COLTEC	66	12	18%	0	-	
Divisão de Áreas Verdes - AV	0	0	0%	6	-	Rua Prof. Francisco de Assis
DPFP / DEMAI	30	0	0%	15	-	Rua Prof. Francisco de Assis
Esc. Veterinária / Hospital - VET	327	190	65%	0	-	
Escola de Belas Artes - EBA	73	0	0%	42	15	Av. Reitor Mendes Pimentel
					9	Rua Prof. Francisco de Assis
					18	Rua Prof. Eduardo Rodrigues
Escola de EEEFTO	192	0	0%	36		Fac. Odontologia
Escola de Engenharia - ENG	629	0	0%	136	50	Rua Prof. Edmundo Linz
					25	Rua Prof. Eduardo Frieiro
					40	Almoxarifado Central
					13	IGC
					8	FACE
Escola de Musica - MUS	81	7	1%	0	-	
Escritório Campus 2010	22	12	54%	0	-	
Estação Ecológica - ECO	12	4	33%	0	-	
Fac. de Ciências Econômicas - FACE	275	113	41%	0	-	
Faculdade de Educação - FAE	241	65	27%	0	-	
Faculdade de Farmácia - FAR	265	117	44%	0	-	
Faculdade de Letras - FALE	150	0	0%	60	-	Av. Reitor Mendes Pimentel
Faculdade de Odontologia - FAO	381	236	52%	0	-	

Tabela 3: Ocupação de estacionamentos

(continuação)

LOCAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS	CAP	VO	VO %	VP	VP	ALOC_VP
FAFICH / EC. da Informação - ECI	227	0	0%	259	154	Av. Reitor Mendes Pimentel
					105	FACE
ICB / Biblioteca Universitária - BU	145	0	0%	152	33	Rua Prof. Eduardo Frieiro
					126	Rua Prof. Baeta Viana
ICB / Mineirão - MIN	500	374	74%	0	-	
Imprensa Universitária - IU	24	16	66%	0	-	
Instituto de Ciências Exatas - ICEX	205	0	0%	19	-	Rua Reitor Pires de Albuquerque
Instituto de Geociências - IGC	163	18	11%	0	-	
Lab. Ensaios de Combustíveis - LEC	20	14	70%	0	-	
Lab. Extra Alta Tensão - LEAT	0	0	0%	11	-	Rua C
Posto de Combustível - PC	0	0	0%	3	-	Rua Prof. Francisco de Assis
Praça de Serviços - OS	73	0	0%	0	-	
Reitoria - REI	195	83	42%	0	-	
Restaurante Setorial II - RS II	31	11	35%	0	-	
Serralheria - SER	0	0	0%	7	-	Rua Prof. Eduardo Rodrigues
UMEI	24	8	33%	0	-	
Unidade Administrativa II - UA II	145	51	35%	0	-	
Unidade Administrativa III - UA III	91	48	52%	0	-	
<b>TOTAL</b>	<b>5254</b>	<b>1653</b>	<b>21%</b>	<b>783</b>	-	
<i>CAP - Capacidade, número de vagas</i>						
<i>VO - Vagas ociosas</i>						
<i>VO % - Vagas ociosas em porcentagem</i>						
<i>VP - Vagas pendentes (demanda menos capacidade)</i>						
<i>ALOC_VP - Alocação das vagas pendentes</i>						

É importante salientar que a demanda por estacionamento advinda do público externo não foi considerada nesta pesquisa. É fato que esse público utiliza os estacionamentos em vias ou em prédios quando estes não são controlados por cancelas. Em decorrência disso, há uma diminuição significativa do total de vagas ociosas.

Nos resultados da análise utilizando matriz de adjacência foram indicados as vias e trechos de vias com o respectivo volume de tráfego. Foi observado um acúmulo de veículos nas entradas da Av. Antônio Carlos e da Av. Carlos Luz (Catalão). Foi observado também que o sistema viário se caracteriza pela presença de um eixo de tráfego mais intenso que, embora segmentado, aponta nitidamente a tendência como eixo principal de distribuição de tráfego em direção a outros eixos secundários. A Escola de Engenharia se apresenta como o maior pólo atrator de veículos e, por essa razão, as vias em seu entorno recebem uma grande quantidade de veículos. Outros trechos onde também foi verificado volume de tráfego intenso possuem características que, de certa maneira, favorecem o trânsito de veículos: a Av. Mendes Pimentel (acesso pela Av. Antônio Carlos) possui pista de rolamento dupla e a Rua Moacir Gomes de Freitas (acesso pela Av. Carlos Luz) na qual não é permitido estacionar em toda a sua extensão. As ruas que levam ao centro do Campus e à Escola de Engenharia, por serem vias com pista de rolamento única e com permissão para estacionar, certamente se caracterizam como as de maior foco de problemas de tráfego.

## Conclusões

A proposta do trabalho aqui apresentado foi desenvolver e aplicar uma metodologia para análises espaciais dentro de critérios reproduzíveis e direcionada à questão da avaliação do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG. Foi ponto fundamental o uso de SIG que possibilitou a caracterização do fenômeno urbano estudado e uma complexa análise espacial, além da elaboração de diagnósticos. Os recursos disponíveis de SIG possibilitaram o gerenciamento e a conversão de dados, o gerenciamento de variáveis e a construção de mapas, imprescindíveis aos objetivos e análises propostas. A representação do sistema viário em geo-rede atendeu de maneira adequada aos propósitos de análises do tráfego.

Primeiramente foi confirmada a aplicabilidade da metodologia com a finalidade de identificação de limitações e potencialidades do sistema de tráfego da UFMG. Foi observado que os resultados das análises realizadas quando comparados convergem para alguns pontos importantes. A existência de regiões de conflito de tráfego e de áreas de insuficiência de estacionamentos foi confirmada por meio dos resultados apresentados. Tais resultados espacializados permitem a determinação dos locais onde a situação é mais crítica e a priorização de intervenções onde necessárias. Outro ponto a destacar é a determinação de locais onde existem possibilidades de expansão do sistema, analisados conjuntamente com a verificação da necessidade desta medida naquele determinado local. Em outras palavras, existem locais onde embora haja possibilidade de aumento da capacidade de tráfego e de estocagem não existe demanda justificável para tal. As propostas de intervenção no sistema de tráfego do Campus podem ser norteadas por estes resultados traduzidos espacialmente e quantitativamente.

Na avaliação dos resultados foi constatada uma distorção em relação à realidade quanto à ocupação dos estacionamentos em prédios exclusivamente com atividades administrativas ou de serviços de apoio. Nestes locais foi observada a ociosidade de vagas que não se confirma quando se compara com os números observados *in loco*. Isto se deve ao fato de que, neste trabalho foi empregado um único modelo para cálculo de viagens geradas por prédio, considerando a utilização do modal automóvel igualmente para todas as categorias. Segundo os dados referentes a 2010, a UFMG/Campus Pampulha possui uma população de 19.885 estudantes correspondentes ao somatório de 14.214 alunos de graduação e 5.671 alunos de pós-graduação, que representam 74% da população total de 26.726 pessoas, considerando todas as categorias: estudantes, professores e funcionários. De acordo com a pesquisa de origem e destino realizada constatou-se que em relação à divisão modal, a taxa de utilização de automóveis em prédios acadêmicos é em média, correspondente a 38% e em prédios administrativos, a taxa é de 58,3%, sendo a categoria de estudantes a que menos utiliza o modal automóvel. Assim, de acordo com o observado na pesquisa O/D, a categoria de estudantes é responsável por um coeficiente menor de utilização e, conseqüentemente, uma menor taxa por usuário, para fins de cálculo de viagens geradas. Conclui-se por meio das análises que o modelo utilizado não se aplica aos prédios administrativos onde inexistente a categoria de estudantes e onde a taxa de utilização de automóveis por usuário é maior que em prédios acadêmicos. Como consequência disso, as viagens geradas calculadas para todos os prédios administrativos resultaram em um número aquém do número real e as análises de estacionamentos apresentam uma taxa de ocupação inferior à observada na realidade. Outro fator que contribui para maior ocupação de estacionamentos de prédios administrativos é a presença de um número representativo de público



externo. Para correção da distorção advinda destes dois fatores, podem ser aplicados modelos com coeficientes específicos e diferenciados para prédios administrativos e para prédios acadêmicos.

É importante enfatizar que os modelos empregados admitem uma lógica e um conjunto de métodos sujeitos à verificação de quaisquer ajustes que se fizerem necessários, a partir de comparações com a realidade ou avaliações de especialistas.

## Referências bibliográficas

- BRUTON, Michael J. *Introdução ao Planejamento de Transportes*. 206 p., 1979.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Ed. Edgard Blucher, 236p., 1999.
- DIRETRIZES  *Gerais para as Questões de Trânsito, Transporte e Estacionamentos*, PROPLAN / UFMG. Belo Horizonte, maio de 2010.
- INSTITUTE of Transportation Engineers – ITE. *Manual of Transportation Engineering Studies*. Washington, USA, 2nd Edition, 2010.
- INSTITUTE of Transportation Engineers – ITE. *Trip Generation*. Washington, USA, 8nd Edition, 2008.
- NUNES et al. *Estudo de Ocupação dos Estacionamentos do Campus Pampulha da UFMG*. DETG, PRA / UFMG. Belo Horizonte, 2009.
- PORTUGAL, L.S.; GOLDNER, L.G. *Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes*. São Paulo, 2003.
- RIC, Relatório de Impacto na Circulação. EE e FACE da UFMG. Belo Horizonte, março de 2003.
- SILVA, Jorge Xavier. *Geoprocessamento para Análise Ambiental*. Rio de Janeiro, 228p., 2001.