



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

André Corrêa Jóia

ANÁLISE DE POTENCIAL LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE
ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS EM BELO HORIZONTE,
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.

Rio de Janeiro
2018



UFRJ

André Corrêa Jóia

ANÁLISE DE POTENCIAL LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS EM BELO HORIZONTE, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana

Orientador: Prof. D.Sc. Fernando Rodrigues Lima

Rio de Janeiro
2018

CIP - Catalogação na Publicação

C74a Corrêa Jôia, André
ANÁLISE DE POTENCIAL LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE
ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS EM BELO HORIZONTE,
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS /
André Corrêa Jôia. -- Rio de Janeiro, 2017.
147 f.

Orientador: Fernando Rodrigues Lima.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Urbana, 2017.

1. Análise Geoespacial. 2. Planejamento Urbano.
3. Estação Ferroviária. 4. Sistemas de Informações
Geográficas. I. Rodrigues Lima, Fernando, orient.
II. Título.



UFRJ

ANÁLISE DE POTENCIAL LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS EM BELO HORIZONTE, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

André Corrêa Jóia

Orientador: Prof. D.Sc. Fernando Rodrigues Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof. Fernando Rodrigues Lima, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof. ^a Gisele Silva Barbosa, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof.^a Lino Guimarães Marujo, D.Sc, POLI/UFRJ

Raul Maurício Cahet Lisboa, D.Sc, CBTU

Rio de Janeiro
2018

DEDICATÓRIA

À minha família, muito JOIA sempre,
me apoiando cada um do seu jeito om
muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, por me capacitar com sabedoria para os desafios da vida acadêmica que finaliza mais um ciclo com a conclusão dessa dissertação de mestrado e que certamente gerará frutos.

À minha família, grande e querida família Jóia, Ademar, Yone, Felipe, Mateus, Larissa e Taísa. Mesmo sem saber eles(as) me deram força para prosseguir nos estudos e finalizar esse projeto.

Ao meus colegas e amigos de trabalho, querida Gerência de Engenharia Civil da Companhia Brasileira de Trens Urbanos – Administração Central aqui no Rio de Janeiro, que apesar das dificuldades políticas e econômicas do país se refletirem diretamente na nossa empresa, esses profissionais sempre buscaram a transmissão do conhecimento ferroviário com prazer aos interessados e a defesa do transporte de passageiros sobre trilhos que é tão esquecida no Brasil.

Aos professores e demais docentes do Programa de Engenharia Urbana que cumpriram com competência a realização do curso e motivaram com o conhecimento científico a elaboração deste trabalho.

Ao professor Fernando Rodrigues Lima, integrante desse grupo de docentes na Escola Politécnica, que me introduziu no mundo do geoprocessamento e apresentou os caminhos para aprendizagem das poderosas ferramentas dos sistemas de informações geográficas.

RESUMO

JOIA, André Corrêa. Análise de potencial local para implantação de estações ferroviárias urbanas em Belo Horizonte, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O presente trabalho compõe a integração do Programa de Mestrado em Engenharia Urbana e os conceitos aplicáveis no local de trabalho sobre transporte ferroviário da CBTU. As cidades são organismos dinâmicos, com notórias alterações ao longo do tempo, inclusive em sua estrutura espacial, sendo o transporte público um elemento chave nessas transformações. A mobilidade urbana tem uma função na organização e na estruturação do espaço urbano. A Engenharia Urbana é apresentada como solução para as diversas variáveis componentes de um sistema urbano. A busca dessas soluções de engenharia para as cidades adicionado ao o engajamento com o modal ferroviário no âmbito profissional motivou este estudo. Busca-se, com essa dissertação, indicar a importância de uma análise integrada na etapa do planejamento: escolha de locais em potencial para receber estações ferroviárias. O objetivo é analisar e aplicar metodologias para investigar locais em potencial de novas estações ferroviárias numa dada área, um perímetro urbano consolidado em Belo Horizonte, com especial ênfase na utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Com o auxílio das ferramentas de estatística espacial foram selecionados 11 critérios a partir de modelos propostos no Referencial Teórico e a respectiva disponibilidade desses dados. Os 11 critérios em potencial foram capazes de explicar o quão adequado foi a escolha das 5 estações sugeridas para serem implantadas na região centro-sul de Belo Horizonte. O resultado do nível de potencial do local da estação ferroviária sugerida foi evidenciado através de um indicador estatístico $R^2_{adjusted}$ de 93%. O valor de $R^2_{adjusted}$ varia de 0 a 100 por cento. Um valor elevado de $R^2_{adjusted}$ evidencia que os locais sugeridos para implantação de estações ferroviárias estão adequados pois suas características podem ser explicadas com 93% de precisão pelos 11 critérios que caracterizam um local ideal de implantação.

Palavras chave: Análise Geoespacial, Planejamento Urbano, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Estação Ferroviária.

ABSTRACT

JOIA, André Corrêa. Analysis of local potential for the implantation of urban railway stations in Belo Horizonte, using Geographic Information Systems. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The present work composes the integration of the Masters Program in Urban Engineering and the concepts applicable in the work place on rail transport of CBTU. Cities are dynamic organisms, with notable changes over time, including their spatial structure, with public transport being a key element in these transformations. Urban mobility has a role in the organization and structuring of urban space. Urban Engineering is presented as a solution for the various components of an urban system. The search of these engineering solutions for the cities added to the engagement with the modal rail in the professional scope motivated this study. With this dissertation, we intend to indicate the importance of an integrated analysis in the planning stage: the choice of potential sites to receive railway stations. The objective is to analyze and apply integrated methodologies to investigate potential sites of new railway stations in a given area, a consolidated urban perimeter in Belo Horizonte, with special emphasis on the use of Geographic Information Systems (GIS). With the help of the tools of spatial statistics, 11 criteria were selected from the models proposed in the Theoretical Framework and the respective availability of these data. The 11 potential criteria were able to explain how appropriate was the choice of the 5 stations suggested to be implanted in the south-central region of Belo Horizonte. The result of the potential level of the suggested railway station location was evidenced by a R^2 adjusted statistical indicator of 93%. The R^2 adjusted value ranges from 0 to 100 percent. A high R^2 adjusted value evidences that the suggested locations for railway station deployment are adequate because their characteristics can be explained with 93% accuracy by the 11 criteria that characterize an ideal site of implantation.

Keywords: Geospatial Analysis, Urban Planning, Geographic Information Systems (GIS), Railway Station.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Iteração das Funções Genéricas	30
Figura 2 - Estação da Luz do Brasil, Tipologia: Gateway	33
Figura 3 - Ilustração de uma Estação Attractor	34
Figura 4 - Estação Central do Brasil, Tipologia: Metropolitan	35
Figura 5 - Estação de metrô Afonso Pena, Local Station	36
Figura 6 - Commuters, Tourists, Recreational Users	37
Figura 7 - Visão por Conjuntos da Ciência Geoprocessamento	41
Figura 8 - Distribuição dos usuários das estações para locais diversos	58
Figura 9 - Caracterização da vizinhança por integração modal.....	58
Figura 10 - Teoria do Grafico de Dispersão	61
Figura 11 - Ilustração da Teoria de Cálculo da Densidade Kernel	62
Figura 12 - Características Socioeconômicas de Belo Horizonte.....	73
Figura 13 - Locação Territorial de BH em relação ao Estado e a União	74
Figura 14 - Regiões Administrativas de Belo Horizonte	75
Figura 15 - Densidade construtiva de Belo Horizonte	76
Figura 16 - Principais Linhas de Desejo da RMBH	77
Figura 17 - Viagens atraídas e produzidas por Transporte Coletivo	78
Figura 18 - Mapa da linha existente de metrô de BH	79
Figura 19 - Mapa de todas as atividades econômicas registradas.....	80
Figura 20 - Atividades relevantes para o estudo	81
Figura 21 - Metodologia para o GWR.....	82
Figura 22 - Praça Sete	87
Figura 23 - Praça Raul Soares.....	88
Figura 24 - Praça da Liberdade.....	89
Figura 25 - Praça Tiradentes.....	90
Figura 26 - Praça da Savassi	91
Figura 27 - 5 estações sugeridas para análise espacial.....	92
Figura 28 - Zonas geradas de potencial a partir das estações sugeridas	85
Figura 29 - Kernel para Estabelecimentos Culturais	94
Figura 30 - Mapa de Densidade Kernel para Parques e Praças	95
Figura 31 - Mapa Centros Comerciais.....	96
Figura 32 - Mapa de Densidade Kernel para Paradas de Ônibus.....	97

Figura 33 - Mapa de Densidade Kernel para as Atividades Econômicas.....	98
Figura 34 - Mapa de Densidade Kernel para Estabelecimentos Educacionais	99
Figura 35 - Mapa de Densidade Kernel para Grandes Polos de Viagens	100
Figura 36 - Mapa de Densidade Kernel para Estabelecimentos Hospitalares	101
Figura 37 - OLS com explanatória das Atividades Econômicas	103
Figura 38 - Gráfico de dispersão da variável ATV_ECON	104
Figura 39 - Resultados estatísticos de OLS ATV_ECON	104
Figura 40 - OLS com explanatória das Paradas de Ônibus	105
Figura 41 - Gráfico de dispersão da variável STP_BUS	106
Figura 42 - Resultados estatísticos de OLS STP_BUS	106
Figura 43 - OLS com explanatória dos Shoppings e Centros Comerciais.....	107
Figura 44 - Gráfico de dispersão da variável SHOPP	108
Figura 45 - Resultados estatísticos de OLS SHOPP	108
Figura 46 - OLS com explanatória dos moradores com renda de 10 à 20 SM	109
Figura 47 - Gráfico de dispersão da variável RENDA_10 ^a 2	110
Figura 48 - Resultados estatísticos de OLS RENDA_10 ^a 2	110
Figura 49 - OLS com explanatória de Parques e Praças	111
Figura 50 - Gráfico de dispersão da variável PQ_PRC	112
Figura 51 - Resultados estatísticos de OLS PQ_PRC	112
Figura 52 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Culturais	113
Figura 53 - Gráfico de dispersão da variável MP_CULT	114
Figura 54 - Resultados estatísticos de OLS MP_CULT	114
Figura 55 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Hospitalares.....	115
Figura 56 - Gráfico de dispersão da variável HOSP	116
Figura 57 - Resultados estatísticos de OLS HOSP	116
Figura 58 - OLS com explanatória de Centralidades.....	117
Figura 59 - Gráfico de dispersão da variável GDE_POL	118
Figura 60 - Resultados estatísticos de OLS GDE_POL	118
Figura 61 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Educacionais	119
Figura 62 - Gráfico de dispersão da variável ESC_UNIV	120
Figura 63 - Resultados estatísticos de OLS ESC_UNIV	120
Figura 64 - OLS com explanatória de Densidade de Domicílios	121
Figura 65 - Gráfico de dispersão da variável DEN_DOMC	122
Figura 66 - Resultados estatísticos de OLS DEN_DOMC	122

Figura 67 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Educacionais	123
Figura 68 - Gráfico de dispersão da variável DDEM_KM2	124
Figura 69 - Resultados estatísticos de OLS DDEM_KM2	124
Figura 70 - OLS contendo todas as 11 variáveis explanatórias.....	125
Figura 71 - Tela de coeficientes do OLS gerada pelo Arcgis	127
Figura 72 - Resultados estatísticos gerados pelo OLS do Arcgis.....	128
Figura 73 - Mapa de resíduos gerados pela GWR	129
Figura 74 - Print dos resultados GWR pelo programa Arcgis.....	130
Figura 75 - Mapa de Resíduos de GRW excluída a estação sugerida.....	132
Figura 76 - Resultados estatísticos da ferramenta GWR para 4 estações	133
Figura 77 - Hotspot de atividades econômicas na zona de influência	139
Figura 78 - GWR para duas estações existentes do metrô de BH	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consolidação de critérios e fatores de caracterização de estações ferroviárias	57
---	----

LISTA DE SIGLAS

ATOC	- <i>Association of Train Operating Companies</i>
AHP	- <i>Analytic Hierarchy Process</i>
BH	- Belo Horizonte
CBTU	- Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CNAE	- Classificação Nacional de Atividades Econômicas
DB	- <i>Deutschebahn</i>
GIS	- <i>Geographic Information System</i>
GWR	- <i>Geographically Weighted Regression</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDE	- Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
OD	- Origem e Destino
OLS	- <i>Ordinary Least Square</i>
PBH	- Prefeitura de Belo Horizonte
PGV	- Polo Gerador de Viagens
RGP	- Regressão Geograficamente Ponderada
RMBH	- Região Metropolitana de Belo Horizonte
SBB	- <i>Swiss Federal Railways</i>
SGBD	- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SNCF	- <i>Société Nationale des Chemins de Fer Français</i>
TFL	- <i>Transport for London</i>
UG	- Unidades Geográficas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA	16
1.2. OBJETIVO	18
1.2.1. Objetivo geral	18
1.2.2. Objetivo específico	18
1.3. METODOLOGIA	18
1.4. JUSTIFICATIVA	19
1.4.1. Relevância Social do Tema	20
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2. REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1. A FERROVIA COMO ELEMENTO CONSTITUTIVO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO	23
2.2. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS	25
2.2.1. Tipologias de estações ferroviárias	32
2.3. GEOPROCESSAMENTO E SUAS APLICAÇÃO NA GESTÃO MUNICIPAL	38
2.3.1. Sistemas de informações geográficas	41
2.3.1.1. Visão Geral	42
2.3.1.2. Uso de SIG no modelo de demanda ferroviária	44
2.3.1.3. Uso de SIG neste estudo	45
2.4. PLANEJAMENTO URBANO	46
2.4.1. Legislação e Gestão Pública	46
2.4.2. Mobilidade Urbana e Desenvolvimento Sustentável	48
3. REFERENCIAL METODOLÓGICO	51
3.1. FATORES ESSENCIAIS E DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS	51

3.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA ESPACIAL.....	59
3.2.1. Diagrama de dispersão e correlação linear	60
3.2.2. Método de Densidade Kernel	61
3.2.3. Análise de Agrupamentos (<i>Cluster Analysis</i>).....	62
3.2.4. Autocorrelação espacial e estatística de I Moran.....	63
3.2.5. Regressão Linear	65
3.2.5.1. Método dos Mínimos Quadrados (<i>OLS</i>).....	68
3.2.5.2. Regressão Geograficamente Ponderada (<i>RGP/GWR</i>).....	70
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	73
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA CIDADE DE BELO HORIZONTE	73
4.2. INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	80
5. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	82
5.1. TRATAMENTO DE DADOS	82
5.2. ANÁLISES COM AS FERRAMENTAS SIG.....	84
5.2.1. Definição da Variável Dependente.....	84
5.2.2. Descrição geográfica dos 5 focos de potencial	86
5.2.3. Descrição das variáveis explanatórias.....	93
5.2.4. Calibração por Kernel	93
5.2.5. Calibração por Mínimos Quadrados Ordinários (<i>OLS</i>).....	101
5.3. RESULTADOS FINAIS DO <i>OLS</i> E <i>RGP/GWR</i>	125
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
ANEXO A – ROTEIRO ESQUEMATICO PARA APLICAÇÃO METODOLÓGICA	146

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

À medida que mais centros urbanos consideram a implementação de sistemas de transporte multimodais, uma atenção significativa tem sido colocada no transporte ferroviário como uma alternativa viável. As cidades estão considerando a ferrovia como um meio para reduzir o uso do automóvel particular, atualmente o principal meio de deslocamento. Busca-se, com essa dissertação, indicar a importância de uma análise integrada na etapa do planejamento: escolha de locais em potencial para receber estações ferroviárias.

Segundo Ciaffi et al (2014), o conceito de planejamento urbano e gestão pública evoluiu consideravelmente nas últimas décadas. Essa evolução foi induzida pelo crescimento das cidades que foram afetadas pela expansão urbana e pelo uso excessivo do automóvel. Desta forma, precisou-se considerar no processo de gestão urbana termos antes não empregados, como mobilidade sustentável, poluição atmosférica e sonora, bem como consumo de energia e tráfego.

Atualmente, a população tem uma relação estreita com o transporte, devido à necessidade de locomoção no percurso casa-trabalho, principalmente nos horários de pico, tornando-se inconcebível uma sociedade moderna onde não haja vários meios de transportes públicos disponíveis. Esta situação é visível nos grandes aglomerados urbanos que cresceram de forma rápida e muitas vezes sem planejamento, desconsiderando pontos importantes como uso do solo, localização e traçado dos sistemas, o meio ambiente e a relação do usuário com o meio de transporte e seu entorno, todos relevados em segundo plano.

As viagens pendulares (casa, trabalho; casa, escola) podem ser consideradas uma das variáveis de maior importância dentro do planejamento de transportes. Segundo Corrêa et al (2013), os movimentos pendulares também estão na base da produção econômica e da vida social.

Desta forma, o transporte ferroviário de passageiros se apresenta como solução viável para minimizar os problemas causados pelos movimentos pendulares, uma vez que, quando planejado e retroalimentado por outros modos de transporte, pode transferir a demanda do automóvel para um sistema de alta capacidade.

O Reino Unido é um exemplo de utilização em larga escala deste tipo de modal, comprovado atualmente pelo elevado número de estações ferroviárias recentemente abertas. Para satisfazer adequadamente essa mudança de comportamento da sociedade a rede ferroviária no Reino Unido precisará ser um sistema dinâmico assim como em outros países da Europa como Alemanha e Holanda (Blainey, 2013). Entretanto ainda segundo Blainey (2013) não existe um consenso sobre procedimentos e avaliações de escolhas de locais de novas estações ferroviárias. O departamento de transporte do Reino Unido possui um guia de demanda, avaliação e previsão de novas estações, porém muitas vezes é difícil colocá-lo em prática. Para que um grande leque de elementos possam ser considerados nessas avaliações e previsões o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) é um elemento chave de ligação desse processo.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. **Objetivo geral**

O objetivo desta dissertação é analisar e aplicar metodologias integradas para investigar locais em potencial para novas estações ferroviárias numa dada área, preferencialmente em perímetro urbano consolidado, com especial ênfase na utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

1.2.2. **Objetivo específico**

Através dessas análises com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento e estatística espacial serão criados cenários em uma região específica do município de Belo Horizonte. Após a definição de critérios, os cenários gerados possibilitarão:

- a) Indicar um modelo específico para a região centro-sul de Belo Horizonte que avalia o potencial de um local receber estações ferroviárias;
- b) Indicar se os 5 locais pré-definidos para receber estações ferroviárias contêm as características suficientes compostas pelos 11 critérios explanatórios;
- c) Classificar entre os 5 locais definidos, quais deles possuem maior potencial de implantação em relação ao modelo proposto;
- d) Aplicação simplificada do modelo utilizado em duas estações de metrô existentes que estão nos limites geográficos, entre as regiões administrativas centro-sul e noroeste.

1.3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em uma revisão bibliográfica seguida de um estudo de referência na região administrativa centro-sul de Belo Horizonte. A estrutura metodológica utilizada é do tipo exploratória baseada em modelos detalhados no capítulo 2 com ênfase em alguns autores que pesquisaram os principais assuntos dessa dissertação e serviram como pilares para a elaboração do modelo de estatística espacial apresentado no desenvolvimento do trabalho. Os autores/pesquisadores considerados como principais referências são: SIMON P. BLAINEY, NAHID MOHAJERI, SVETLA STOILOVA, e STEFAN ZEMP.

1.4. JUSTIFICATIVA

Muitos esforços no sentido do desenvolvimento sustentável dos transportes e da utilização dos solos promovem estratégias de concentração em torno dos nós em transportes públicos (HAYTS, 2005; VERHETSEL; VANELSLANDER, 2010). A partir desse conceito, as estações ferroviárias tornaram-se um tema chave no planejamento urbano e sustentável das cidades. (CALTHORPE, 1993; BRUINSMA et al., 2008; PEEK; LOUW, 2008). A região centro-sul de Belo Horizonte, como será apresentada no Capítulo 4, exemplifica a situação da maior parte das cidades de médio e grande porte no Brasil, zonas consolidadas urbanisticamente porém sem um transporte público estruturador de alta capacidade nesse perímetro.

Segundo Cardozo et al. (2009), o transporte ferroviário funciona como uma ferramenta eficaz para a mobilidade urbana pois apresenta melhores custos de consumo, energia e espaço viário por passageiros, além de taxas de emissão de poluentes menores se comparado ao transporte individual. Assim, a inclusão social é diretamente proporcional aos investimentos na rede urbana, interurbanas e inter-regionais.

No entanto, uma das grandes dificuldades relacionadas à gestão dos transportes públicos é fornecer, aos órgãos administrativos, informações básicas que permitam um conhecimento integrado dos problemas, bem como a utilização de processos efetivos e eficientes de planejamento (SILVEIRA; BARROS FILHO, 2006). Sob esta perspectiva os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), destacam-se por possibilitarem a análise e simulação de dados comumente dispersos e independentes oriundos de diversas fontes, tornando-se um hábil instrumento de apoio à tomada de decisão.

O presente trabalho portanto reúne os assuntos citados acima para que em conjunto possam trazer soluções eficientes para o planejamento urbano, com ênfase no papel das estações ferroviárias, importante nó do transporte urbano. A região centro-sul de Belo Horizonte exemplificará a aplicação desses conceitos através da aplicação do modelo de Regressão Geograficamente Ponderada (RGP), utilizando as ferramentas SIG.

1.4.1. Relevância Social do Tema

A operação e o desenvolvimento de estações requerem a integração de múltiplos atores e interesses (BERTOLINI e SPIT, 1998; WOLFF, 1999; WUCHERPFENNIG, 2006). Trata-se, portanto, principalmente das empresas de infraestruturas imobiliárias ou ferroviárias, responsáveis pela coordenação do desenvolvimento destas estações. Normalmente, essas empresas operam um número significativo de estações. A SBB *Infrastructure* na Suíça, que opera mais de 700 estações (quase metade de todas as estações na Suíça), a DB *Station & Service* na Alemanha operando mais de 5400 estações, a SNCF *Gares & Connexions* na França operando mais de 3000 estações, China Railway Network operando mais de 3900 estações.

As características e o funcionamento das estações dentro de tal portfólio variam fortemente (LI e CAI, 2007, REUSSER et al., 2008). Uma questão importante para as empresas de infraestrutura mas também para todos os outros atores afetados é portanto o seguinte questionamento: Qual é a estação ideal em um determinado local? (ROSS, 2000, CONNOLLY e PAYNE, 2004). A fim de apoiar uma resposta bem fundamentada a esta questão, muitas empresas de infraestruturas ferroviárias classificam as suas estações.

Os impactos gerados da ausência de planejamento atingem principalmente as classes com menor poder aquisitivo. Dado que, contrário dos EUA, as regiões de subúrbio Brasil são ocupadas, em sua maioria, por população de classe baixa que demandam de transporte público para chegar até os grandes centros em busca de trabalho, educação, saúde e lazer. Desta forma, o sistema de transporte ferroviário contribui para a inclusão social, oferecendo as mesmas escolhas se comparado aos indivíduos que moram em áreas mais desenvolvidas.

Investidores e as demais partes interessadas demonstram também foco na questão de redesenvolvimento e reanálise do conceito de estações ferroviárias. O transporte e o uso do solo se relacionam e influenciam-se consideravelmente. Como o pensamento de desenvolvimento sustentável tornou-se para muitas empresas um consenso a construção e direcionamento de modos de transporte mais eficiente no quesito energético. Como exemplo dessa linha de pensamento existe o TOD, *transit-oriented development* (JENKS, 2005) e várias estratégias de planejamento (HOLDEN,

2004; MEIJERS, 2005 RITSEMAVAN ECK et al.,2005). Uma ideia em comum desses princípios e estratégias são o incentivo do desenvolvimento concentrar-se ao longo transporte público ou ao redor dos nós gerados por eles. Apesar do desenvolvimento concentrado não ser incontestável (Gordon e Richardson, 1997), os nós de transporte público, especialmente as estações ferroviárias, tornam-se assim um centro de foco no planejamento (HARTZ e LIECHTI, 1992; HINE e Scott, 2000; CONNOLLY e PAYNE, 2004, HAYWOOD, 2005, PELS e RIETVELD, 2007, Cascetta e PAGLIARA, 2008). A remodelação das estações ferroviárias (desde o reinvestimento ordenado até a construção completamente nova nos principais desenvolvimentos de parcelas ou projetos de regeneração urbana), portanto, não só traz desafios técnicos (por exemplo, infraestruturas complexas, redesenvolvimento em condições de funcionamento), mas também desafios sociais significativos.

Grande parcela das partes envolvidas com perspectivas divergentes estão preocupadas com esse rearranjo ou redesenho das estações ferroviárias na Europa devido ao crescimento populacional e de demanda pelo serviço ferroviário (BERTOLINI e SPIT, 1998; WUCHERPFENNIG, 2006; PRETSCH et al., 2007). A Suíça ilustra essas complexidades de redesenho para condições com demanda crescente e, muitas vezes, espaço limitado. Os números de passageiros no Zurich *S-Bahn System* (metro suburbano ferroviário), por exemplo, dobraram nos últimos 15 anos (ZVV, 2009). As agências governamentais preveem um crescimento dos números de transporte ferroviário de passageiros em 45% entre 2000 e 2030 (ARE, 2006), e as Estradas de Ferro Federais Suíças (SBB) questionam se suas estações ferroviárias são adaptáveis a essas taxas de crescimento (SBB, 2010). As áreas urbanas circundantes são muitas vezes de densidade similar. Com uma densidade populacional média de mais de 750 [hab/km²], as áreas metropolitanas da Suíça abrangem 55% da população suíça em 13% de sua área (ARE, 2004). Tais densidades de contexto podem colocar um estresse adicional no processo de redesenvolvimento.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi dividida em 6 capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema de ferrovia vinculada à visão sistêmica do planejamento urbano e suas dificuldades contemporâneas no mundo em relação aos sistemas de transportes. Apresenta ainda os objetivos gerais e específicos, a metodologia utilizada e a estruturação do trabalho.

O segundo capítulo descreve os assuntos da dissertação com referenciais teóricos para que quando unificados no desenvolvimento do trabalho estejam claramente consolidados. A classificação e caracterização das estações ferroviárias nesse capítulo é fundamental para que a definição de critérios do modelo proposto seja válida cientificamente. A descrição dos tema Geoprocessamento e suas aplicações na gestão municipal, comprovam a importância dessas ferramentas para tomada de decisão no âmbito de planejamento urbano, que também é tratado no capítulo.

O terceiro capítulo apresenta o referencial metodológico com as ferramentas de análise espacial para calibração da metodologia principal de regressão linear local que culmina na aplicação da Regressão Geograficamente Ponderada (RGP). Os diversos modelos de análises apresentados estão contidos no software utilizado no desenvolvimento do trabalho, ArcGIS.

O quarto capítulo é uma apresentação da área de estudo com informações técnicas, inclusive georreferenciados em relação à região específica do município de Belo Horizonte, que é a região administrativa centro-sul. São apresentados detalhadamente os locais escolhidos para aplicação do modelo de análise de potencial, através de dados socioeconômicos e imagens.

O quinto capítulo apresenta detalhadamente o método utilizado através do *software* ArcGIS e como ele foi implementado. São gerados uma sequência de mapas e informações que permitem a análise visual para calibração do modelo, culminando na aplicação da ferramenta GWR (Regressão Geograficamente Ponderada).

O sexto capítulo apresenta as considerações finais sobre os resultados e de todo o desenvolvimento do trabalho em relação aos objetivos alcançados, dissertando sobre como uma tomada de decisão pode se embasar na metodologia proposta.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A FERROVIA COMO ELEMENTO CONSTITUTIVO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO

A ferrovia, que surgiu no início do século XIX, contribuiu para o início de uma nova sociedade, de uma nova relação entre agentes, países e regiões e para uma formação espacial muito mais complexa.

Esta nova realidade alterou profundamente as relações econômicas entre diferentes localidades, reduziu a distância medida em tempo e custo e contribuiu para a formação de grande parte das cidades que conhecemos atualmente. O surgimento das ferrovias propiciou o fim do isolamento das pessoas e das regiões.

As trocas mercantis aumentaram e contribuíram para o surgimento de regiões especializadas em determinado tipo de produto. As empresas, até então de abrangência local, passaram a atuar nas escalas nacional e internacional, necessitando, portanto, de novas técnicas e normas para gerir os recursos materiais e imateriais. A organização das empresas foi possível também graças ao surgimento do telégrafo, que evoluiu junto com as ferrovias.

Com o surgimento das empresas ferroviárias, um novo ambiente normativo foi sendo instituído para regular o funcionamento das ferrovias e da dinâmica do sistema. As normas definiram também grande parte do funcionamento da sociedade e das regiões, que passaram a ter como parâmetro de organização e de circulação os horários e os traçados das ferrovias.

Esse novo período, compreendido entre o início do século XIX e início do século XX, ficou conhecido como a “Primeira Revolução Chandleriana”, proposta pelos autores Bressand & Distler, em 1995, e que teve como referência a obra de Alfred Chandler – *The Visible Hand, The Managerial Revolution in American Business*. Nesse período, com o surgimento das ferrovias e do telégrafo, verificou-se uma “nova organização do mundo e das relações econômicas baseada numa crescente diminuição da fricção do espaço” (BRESSAND; DISTLER; CASTILLO, 2001).

O emprego dessas novas técnicas, a ferrovia e o telégrafo, permitiu a “aceleração” do fluxo de pessoas e de bens materiais e imateriais, como informação,

relatórios e cotações de preços. Utilizada primeiramente pelas empresas e organizações, essas técnicas permitiram as primeiras percepções da “instantaneidade” e da possibilidade da ação à distância quase que de forma imediata. Foi o início de um novo aproveitamento do “uso do tempo e do espaço” (SANTOS, 2002).

Os avanços foram tremendos, porém a “instantaneidade” percebida não era completa, total, como a do período atual, pois ainda o tempo era estabelecido por intermediários que tinham seus horários de funcionamento e atrasos de distribuição dos sinais.

Foi o período que deu início à emergência de espaços mais racionais e ao processo de transportar o nacional, e depois o universal, ao local; ou, ainda, à configuração de espaços de um mundo em processo de internacionalização. As ferrovias não só ligavam os lugares ao mundo, como ligavam o mundo aos lugares. E isso se dava através da troca de mercadorias, de ideias, de informações, de normas e de experiências. As ferrovias ajudaram também na “origem de um complexo sistema de divisão internacional do trabalho”, devido ao “incremento de produtividade nos transportes”. Contribuíram, também, para modificar o “tempo e o movimento dos homens” (ELLUL, 1968) e reduzir o “lapso de tempo” que permitiu instalar uma ponte entre lugares distantes, tornando-os “virtualmente aproximados”, já que na realidade possuíam ainda as mesmas distâncias entre si porém uma ponte diminuiria o tempo médio do trajeto tornando-os relativamente ou “virtualmente” mais próximos (Dias, 2002).

Para Andrade (1970) a expansão das ferrovias na segunda metade do século XIX foi fundamental para a integração do território francês e norte-americano, “permitindo o crescimento dos polos principais de expansão de sua área de influência, pela formação de “nós de tráfego” e de “zonas de desenvolvimento”.

Na virada do século XIX, a “chave da dominação mundial passou a ser exercida pela hipertrofia do poder terrestre, condicionado este ao desenvolvimento das vias férreas” (FORTES, 1956). Graças às ferrovias, grandes potências, como os Estados Unidos e a Rússia, consolidaram a integração de seus territórios.

No Brasil, o banqueiro e empresário Irineu Evangelista de Souza, mais tarde Barão de Mauá solicitou privilégio para construção de outra ferrovia ligando o Porto de

Mauá, na Baía de Guanabara, à localidade de Raiz da Serra que ficava na direção de Petrópolis, na Província do Rio de Janeiro. Esta ferrovia acabou se tornando efetivamente a primeira do Brasil, inaugurada em 30 de abril de 1854, com apenas 14,5 km de extensão com bitola de 1.676 mm, que mais tarde seria conhecida como bitola indiana. A empresa do barão denominada Imperial Companhia de Navegação a Vapor - Estrada de Ferro Petrópolis realizou a primeira operação intermodal porto-ferrovia levando as cargas por navio da Praça XV até os fundos da Baía de Guanabara e de lá seguiam por trem até Raiz da Serra. A Estrada de Ferro Mauá teve apenas valor político e simbólico, por seu pioneirismo. Mauá viria a participar direta ou indiretamente da implantação ou negociações de nove outras ferrovias no Brasil. A partir daí surgiram diversas vias férreas.

As ferrovias no Brasil tiveram também um papel importante na organização da região oeste do estado de São Paulo. Elas foram construídas para atender ao escoamento da produção do café destinada às exportações, mas contribuíram também para a criação de muitas cidades do interior paulista. Segundo Monbeig (1984), sobre o oeste paulista “é mais exato falar em regiões ferroviárias, que de regiões geográficas ou econômicas”. Novas cidades foram criadas e muitas outras ganharam uma importância regional.

2.2. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS URBANAS

Uma estação de trem de passageiros urbana é uma construção na qual se pode embarcar ou desembarcar, entrar ou sair do sistema de transporte. Usualmente, consiste em pelo menos um edifício para passageiros mais outras instalações associadas ao funcionamento da ferrovia. As estações mais antigas costumavam ser construídas para as necessidades de passageiros e cargas. Aquelas localizadas tanto no início quanto no final da via são denominadas “estações terminais”. Muitas delas datam do século XIX e retratam a arquitetura da época, grandes em tamanho, tendendo a prestigiar o valor econômico, histórico e cultural das cidades quanto grandeza do transporte ferroviário em relação aos demais transportes públicos. Várias formas de arquitetura foram utilizadas para a construção das estações de trem, desde os estilos mais rebuscados, como o barroco e o gótico, aos estilos mais utilitaristas ou

modernos, algumas chegando até a se assemelhar a aeroportos, com seu estilo abstrato, frio e plano (JUHNKE, 1968).

Inseridas no ambiente urbano, as estações ferroviárias servem como elemento de ligação das duas áreas divididas pela ferrovia. Podem compartilhar o mesmo espaço físico com outros tipos de transporte, como ônibus, automóveis, exercendo a função de polo de integração modal. Muitas atividades urbanas são executadas no seu espaço interno e no seu entorno. De um modo geral, são alocados na sua vizinhança vários tipos de uso de solo. Com essa configuração, elas se inserem como objeto de estudo da Geografia.

A classificação das estações ferroviárias é uma ferramenta potencialmente poderosa para o planejamento estratégico do transporte de um perímetro urbano. As classificações existentes baseiam-se fortemente no indicador "frequência de passageiros", que se concentram nas questões relacionadas com o transporte, misturando o desempenho com condições prévias num dado local. Apresenta-se neste estudo que um sistema de classificação para o planejamento estratégico deve se concentrar nas demandas e características locais e de entorno do local de implantação da estação, ou seja, busca-se uma abordagem sistêmica, conceito oriundo da Teoria Geral dos Sistemas. Para isso o sistema urbano de uma cidade pode ser considerado a parte global, o "todo", e as partes que o compõe como por exemplo: sistemas de transporte, condições geográficas, morfológicas, econômicas, sociais, culturais, entre outros, relacionam-se direta ou indiretamente para explicação e entendimento do sistema urbano.

Além da contribuição para o planejamento estratégico das cidades, pode-se obter ainda orientação de investimentos e a qualidade das estações através de três maneiras:

- a) Identificação de estações comparáveis com relação a certas questões. Para as empresas de infraestrutura, isso reduz a complexidade de gerenciamento ao permitir a aplicação de padrões em operações e desenvolvimento, garantindo consistência de ações em grandes portfólios e regiões geográficas. Da mesma forma, para os outros atores, como os órgãos locais de planejamento espacial, permite identificar locais e atores com desafios ou experiências comparáveis;

- b) Possíveis comparações e avaliações de desempenho dentro das classes de estações, identificando benchmarks de sucesso ou destacando necessidades de ação;
- c) Apoio à identificação de potenciais gerais de desenvolvimento e adaptações futuras necessárias de classes inteiras e dentro de classes. Estas contribuições das classificações exigem e apoiam a definição de (Bosshard, 1997), ou seja, a identificação de potenciais de desenvolvimento depende de avaliações de desempenho.

Segue abaixo o resumo exemplificado de alguns modelos conceituais elaborados por estudiosos que contribuíram para o desenvolvimento dos projetos e estudos de estações ferroviárias:

- a) O modelo de nó de lugar de Bertolini descreve as estações ferroviárias a partir de duas perspectivas: como nós na rede de transporte, e como lugares no sistema de infraestrutura (BERTOLINI, 1996, 1999). Representar nó e colocar valores de estações em um diagrama bidimensional descreve a relação de transporte (conectividade de rede) e uso de terra (intensidade e diversidade de usos na área de captação) de cada estação. Os desequilíbrios tornam-se visíveis. Bertolini assume uma tendência para funções de posicionamento e nó equilibradas. O modelo pode assim ser interpretado para identificar potenciais desenvolvimentos futuros das estações. O modelo do nó foi aplicado em vários projetos (PEEK et al, 2006). Reusser et al (2008) aplicaram uma adaptação do modelo para uma comparação de mais de 1600 estações ferroviárias suíças.
- b) Juchelka (2002) descreve três funções das estações ferroviárias na perspectiva dos potenciais de desenvolvimento urbano: todas as estações ferroviárias são descritas como tendo uma função primária essencial de interligar vários modos de transporte. Nesta base, as funções sinérgicas adicionais são consideradas possíveis dependendo do tamanho da estação: funções secundárias, como áreas comerciais, de lazer e culturais para estações de médio porte e funções terciárias, como um importante centro da cidade ou centro comercial para grandes estações. Dentro de um projeto de redesenho de estações ferroviárias, essas funções podem ser vistas como pilares para o desenvolvimento da área urbana circundante. As

partes interessadas a serem consultadas em um processo de redesenho devem, portanto, ser selecionadas de acordo com a função em foco.

- c) Wulforth (2003) aplica métodos de modelagem dinâmica do sistema ao caso das estações ferroviárias. Utilizando 24 variáveis, são descritas as interações entre o uso da terra no ambiente da estação, o uso de edifícios de estações, a qualidade da interconexão de transporte e a demanda de transporte ferroviário. Uma vez que o modelo é calibrado para um caso específico, podem ser implementados possíveis cenários de redesenvolvimento. Posteriormente, é possível uma estimativa dos impactos e do desenvolvimento de índices de medição chave (como o desenvolvimento do uso da terra no ambiente da estação, a valorização dos prédios da estação e as melhorias na qualidade da interconexão) para cada cenário de redesenvolvimento.

O modelo do nó também foi aplicado nos Países Baixos (Bertolini, 1999; Peek, 2006). As estradas de ferro holandesas usaram esse modelo para coordenar as estratégias dentro de suas unidades de negócios (passageiros, serviços de estações e imóveis).

Para fazer uma classificação das estações ferroviárias e paradas na rede ferroviária checa (DB STATION e SERVICE, 2013), os pesquisadores usaram quatro grupos de parâmetros de entrada - posição da estação dentro da rede; Posição da estação como um nó de mudança de transporte público; Liquidação e posição da estação em relação a esse acordo; e a atratividade dos arredores da estação. As estações foram separadas em cinco grupos (A, B, C, D e E) por este modelo. O objetivo da classificação foi especificar as conclusões para o equipamento da estação.

O modelo de categorização de estações ferroviárias na Rede Ferroviária Alemã é apresentado em estudos pela empresa DB Station & Service (DB Station & Service, 2012 e 2013; PUCCI, 2008). Nos documentos citados, foram observadas 5400 estações ferroviárias e foram divididas em sete categorias. Essas categorias também fazem parte de uma metodologia de classificação de preços chamada "SPS 11 – Stations preis system", que é usada para definir o nível de taxa para uso externo das estações ferroviárias. O modelo inclui seis critérios: Número de bordas da plataforma; Comprimento das plataformas; número de passageiros por dia; número de trens de parada por dia; pessoal presente e acesso à plataforma sem barreiras. A classificação

elaborada serve para determinar a importância e o equipamento geral da estação, que faz parte de uma categoria pré-determinada.

A Rede Ferroviária Italiana (RFI) classifica as estações ferroviárias nas categorias Platinum, Gold, Silver e Bronze (PUCCI, 2008; FERROVIARIA ITALIANA 2014). Os quatro parâmetros são utilizados para fazer a classificação: dimensões da planta, que é o conjunto de áreas e superfícies acessíveis e atendidas pelos viajantes; o comparecimento, ou o número de viajantes e visitantes comuns que usam o sistema ferroviário diariamente; a capacidade de um sistema ferroviário para se conectar com outros sistemas de transporte público; o nível do comercial ou a qualidade do serviço de passageiros oferecido pelo trânsito ferroviário.

Uma estratégia para a classificação da estação de trem com base nos dados da amostra no norte da China e no uso de algoritmos de classificação de redes neurais não supervisionadas é apresentada em um artigo (HAI, X.; ZHAO, 2012). Os fatores investigados são: fluxo de passageiros, origem e número do trem, quantidade populacional e nível administrativo regional. A aplicação de um mapa organizador classifica a estação de trem em três grupos mostrando níveis diferenciáveis.

Pode-se concluir e resumir que a classificação das estações ferroviárias tem como uma vertente de objetivos, lidar com os seguintes problemas:

- a) Transporte - melhorando a acessibilidade e conexões na estação com outros modos de transporte;
- b) Comercial - reabilitação e desenvolvimento de estações como centros comerciais, aumentando sua atratividade;
- c) Integração - desenvolvimento das áreas em torno das estações como um local para transporte e serviços comerciais.

Em todas essas situações, a estação ferroviária atua como polo gerador de viagens (PGV). As variáveis intervenientes na geração de viagens e de demanda de passageiros estão associadas às funções exercidas pela estação ferroviária no sistema de transporte e na estrutura urbana. Dessa forma, para identificá-las, é importante conhecer as funções da estação no ambiente urbano. Como referência principal deste estudo foram escolhidas as funções definidas por Stefan Zemp (2011), que baseado em um projeto de pesquisa transdisciplinar aplicado para quatro grupos

específicos, 28 entrevistas com especialistas e 2 eventos de workshop, estruturou cinco funções genéricas das estações ferroviárias e suas interdependências, figura 1.

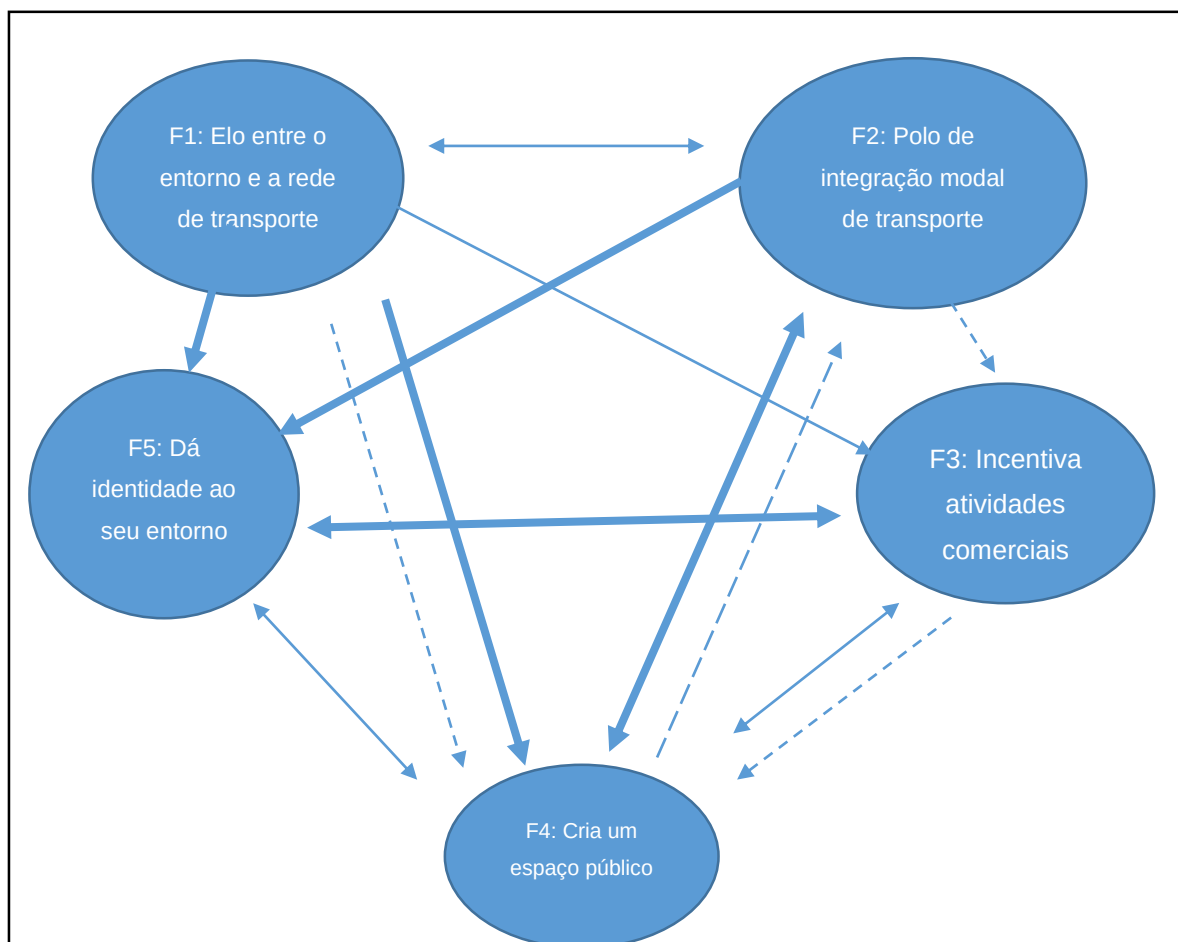


Figura 1 - Iteração das Funções Genéricas

Fonte: Stefan Zemp (2011)

As funções são as seguintes:

a) Conectar a área de influência com a rede de transporte

As estações ferroviárias são elos entre a rede transporte e a área vizinha, cujo limites são estabelecidos pela sua capacidade de atender à demanda. A localização da estação ferroviária define a demanda do seu entorno expressa pela sua área de

influência e pelas atividades nelas desenvolvidas. O tamanho da área de influência depende do porte da área construída da estação ferroviária, que define a sua atratividade, como a sua acessibilidade, que é determinada pela oferta de transporte público.

Essa função da estação define, portanto, o porte da demanda. Assim, estações localizadas em áreas com poucas atividades urbanas e baixa densidade populacional devem sofrer intervenções, visando adequá-las à característica fundamental do trem, que é atender a grandes contingentes.

b) Dar suporte à integração

Na área interna da estação ferroviária, os passageiros trocam de linhas ou de modo de transporte, usando a caminhada. Para dar suporte a essas atividades, a estação deve ter áreas seguras, baias para transferências, estacionamentos e paradas, locais de espera, bilheterias e serviços diversos para atender aos passageiros.

Na função de polo de integração modal, a estação atrai para o sistema usuários de outras linhas e modalidades. Além de aumentar a demanda de passageiros, contribui para a criação de um ambiente com menos viagens de automóveis e menos poluição atmosférica.

c) Atrair atividades comerciais para sua área de influência para aumento de receita

As estações ferroviárias são locais atrativos para atividades comerciais. Compras, negócios e diversas atividades podem ocorrer no tempo livre, tanto para passageiros quanto para residentes próximos ao local.

A função de concentrar atividades na sua área interna permite aumentar a receita das empresas que operam o sistema. Além disso, reforça sua atratividade e pode reduzir o número de viagens, pois em vez do usuário se deslocar da estação até outro local (alguns desses deslocamentos usando automóvel) para efetuar pequenas compras ou pagar contas, isso pode ser feito enquanto aguarda o trem. Quem vai para o trabalho de automóvel e precisa realizar tarefas pode dar preferência ao trem no deslocamento para esse fim como forma de reduzir custos com estacionamento.

d) Prover espaço público para atividades culturais

A estação ferroviária é um espaço público e pode ser utilizado para atividades sociais e eventos, como: feiras, exposições, exhibições de shows, pequenas encenações teatrais, entre outros.

Por meio de atividades externas ao setor, a estação ferroviária, como espaço público, pode atrair os usuários de outros sistemas de transporte e aumentar a atratividade para aqueles que estejam dentro do sistema. É uma função que pode propiciar lazer aos cidadãos e, ao mesmo tempo, leva-los a refletir sobre alternativas de deslocamentos, principalmente aqueles que usam automóvel.

e) Contribuir para identificar sua vizinhança no tempo e no espaço

A estação ferroviária é uma construção que identifica a arquitetura da época. Sua localização influencia a distribuição de residências e comércios, bem como estabelece fronteiras para expansão da área vizinha.

A questão arquitetônica da construção, a quantidade e a qualidade das atividades desenvolvidas em seu interior, os fatos históricos ocorridos no entorno, o nobiliário urbano alocado na vizinhança, o tipo de relacionamento comunitário efetuado, entre outros, associam a estação ao espaço urbano. Já que o local está identificado pela estação, o trem passa a fazer parte da vida das pessoas, logo, ele deve ser usado nos deslocamentos.

As funções interagem entre si e seus desdobramentos devem ser entendidos como indicações ou tendências gerais. Na prática, sua qualidade em qualquer estação ferroviária depende do contexto em que ela está inserida. Os resultados das interações, no estudo de Zemp et al (2011), indicam que a maioria delas é positiva, isto é, pela reciprocidade, uma função contribui para a melhoria da outra. Por exemplo, a função integração modal incentiva atividades comerciais no local e estas, por sua vez, atraem os usuários para o trem. Como consequência, existe um grande potencial para a atuação coordenada, visando integrar os setores de transporte e urbano.

2.2.1. Tipologias de estações ferroviárias

As pessoas viajam para uma estação em função do seu destino final, portanto essa razão pode definir os tipos de estações ferroviárias em quatro grupos (Gareth Powell, 2015). Uma estação pode ser classificada por mais de uma tipologia, porém

haverá um balanço entre essas características destacando-se uma tipologia das demais:

- I. **Estação de Entrada (Gateway)** – é um ponto de chegada à cidade, como a estação da Luz em São Paulo. Isso cria para esta estação certas oportunidades e desafios como:
 - a) Os usuários podem não conhecer a cidade, a vizinhança da estação e o sistema de transporte e precisarão se familiarizar com isso;
 - b) A necessidade de se criar uma primeira impressão positiva da cidade, vizinhança e do sistema de transporte;
 - c) O tempo de permanência pode ser mais longo que em outras estações;
 - d) Fluxo elevado de pessoas em certos períodos e interesses potenciais entre diferentes tipos de usuários.

A figura 2 ilustra uma Estação Gateway.



Figura 2 - Estação da Luz do Brasil, Tipologia: Gateway

Fonte: Wanderley Celestino (2014)

- II. **Estação de Atração (Attractor)** – serve como um ponto final para um local significativo ou importante da vizinhança. Um exemplo no Brasil é a estação

Maracanã no Rio de Janeiro, entre outras. Essa tipologia cria também oportunidades e desafios:

- a) Primeira vez dos usuários na região;
- b) Os usuários desejam se dirigir com eficiência, conforto e qualidade para um ou dois destinos específicos;
- c) Elevados fluxo de pessoas em horários de picos;
- d) As pessoas podem querer conhecer mais lugares além dos pontos reconhecidamente turísticos da região.

A figura 3 ilustra uma Estação *Attractor*.

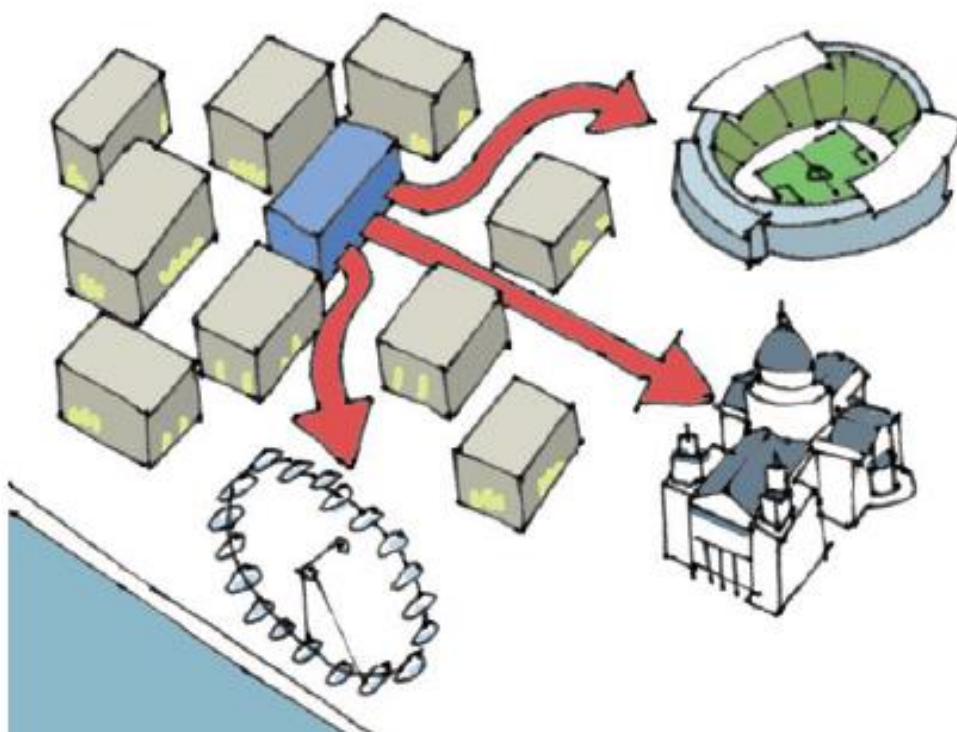


Figura 3 - Ilustração de uma Estação *Attractor*

Fonte: Manual TFL (2015)

III. **Estação Metropolitana (*Metropolitan*)** – são normalmente próximas ou dentro dos centros urbanos das cidades. Geralmente atuam como polo de integração modal, um exemplo é a estação Central do Brasil no Rio de Janeiro. As oportunidades e desafios são:

- a) Grande número de usuários de diferentes tipos, com demandas diversas se movendo em velocidades diferentes;

- b) Necessidade de informações atualizadas sobre os sistemas de transportes ali integrados e suas respectivas interrupções;
- c) Congestionamento da vizinhança nos horários de pico;
- d) Usuários regulares que se adaptam a rotina da estação ferroviária, podendo essa se beneficiar com os serviços de conveniência.

A figura 4 ilustra uma Estação Metropolitana.



Figura 4 - Estação Central do Brasil, Tipologia: Metropolitan

Fonte: Halley Pacheco de Oliveira (2012)

- IV. **Estação Local (*Local Station*)** – tendem a ser estações de menor porte que os outros tipos e possuem baixo nível de integração modal. As oportunidades e desafios para ilustração desse tipo de estação são:
- a) Baixo número de usuários em determinado período;
 - b) Problemas de segurança devido à baixa frequência de passageiros;
 - c) Oportunidade de envolvimento da comunidade local agregando valor a região;

A figura 5 ilustra uma Estação Local.



Figura 5 - Estação de metrô Afonso Pena, Local Station

Fonte: MetrôRio (2015)

O guia de planejamento de zonas de influência de estações ferroviárias elaborado por *Transport for London* (Gareth Powell, 2015) define ainda a tipologia dos usuários para estações em perímetros urbanos. Serão apresentados os três tipos para complementação do estudo de estações ferroviárias, pois compreender o tipo de usuário auxiliará no redesenvolvimento de uma estação. Os três tipos são:

- I. **Passageiros pendulares (*commuters*)** - visitam regularmente uma estação e, muitas vezes, se movem de forma individual, rápida e eficiente. Estes estão focados em chegar ao seu destino e podem ter pouco tempo. Encontram-se ainda nas estações de **ENTRADA**, **LOCAL**, **METROPOLITANA** e de **ATRAÇÃO** e apresentam os seguintes desafios e oportunidades:
 - a) Eles querem se mover tão rápido e eficientemente quanto possível;
 - b) Eles querem informações de viagem apenas quando há necessidade disso;
 - c) Eles se beneficiam de serviços de conveniência quando melhoram sua jornada ou permitem que sejam mais eficientes.
- II. **Turistas (*tourists*)** - Os turistas podem visitar uma estação uma única vez e podem não estar familiarizados com o ambiente e o sistema de transporte. Muitas vezes

se movem em grupos e gastam tempo nas estações para se adequarem à mobilidade urbana local. Estes geralmente utilizam estações de **ENTRADA** e de **ATRAÇÃO** e apresentam os seguintes desafios e oportunidades para uma estação:

- a) Podem precisar de suporte em orientação;
- b) Eles podem precisar de mais espaço devido ao tempo extra para se organizarem, o tamanho do grupo e por causa de eventuais malas ou acessórios de maior porte que estejam carregando;
- c) Eles querem aproveitar ao máximo a área e a experiência cultural da cidade.

III. **Usuários Recreativos (*Recreational users*)** – são semelhantes aos turistas, geralmente se movem em pequenos grupos. Estes dominam o sistema de transporte porém não se importam tanto com a rapidez do transporte quanto os passageiros. Normalmente um usuário recreativo estará frequentando o sistema de transporte em um estado de espírito positivo e relaxado. São oportunidades e desafios desses usuários:

- a) Eles estão mais relaxados e se movem em um ritmo mais lento;
- b) Eventualmente eles precisam de áreas para esperar, conhecer amigos e socializar;
- c) Podem usar o sistema de transporte fora de horários de pico.

A figura 6 ilustra os três tipos de usuários. Os perfis de usuários com necessidades especiais como de mobilidade ou visual devem ser levados em consideração no projeto atendendo aos requisitos de acessibilidade de acordo com a norma vigente.



Figura 6 - *Commuters, Tourists, Recreational Users*

Fonte: Manual TFL (2015)

2.3. GEOPROCESSAMENTO E SUAS APLICAÇÃO NA GESTÃO MUNICIPAL

O uso do geoprocessamento na atualidade vem sendo utilizado em diversas áreas do conhecimento, tais como planejamento urbano, recursos naturais, comunicação, transportes, entre outras. Essa diversa aplicabilidade se deve à necessidade de coletar informações sobre a distribuição geográfica nos mais variados estudos. Logo, Câmara e Davis definem: “O termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” (CÂMARA; DAVIS, 2001). Essas atividades são executadas por sistemas chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS em inglês: *Geographic Information Systems*).

O geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, através de tecnologias que envolvem a coleta e tratamento das informações espaciais, buscando uma representação simplificada do mundo real e generalizando suas características e relações para um objetivo específico (CIRILO; MENDES, 2001).

Praticamente todas as áreas de atuação municipal podem encontrar no geoprocessamento um importante aliado nas etapas de levantamento de dados, diagnóstico do problema, tomada de decisão, planejamento, projeto, execução de ações e medição dos resultados.

De um modo geral, o fato de conhecermos onde os problemas ocorrem e poder visualizá-los espacialmente facilita sobremaneira seu entendimento e nos mostra as possíveis soluções, senão a única.

O célebre exemplo do Dr. John Snow (1854), quem em 1854 controlou uma epidemia de cólera em Londres mapeando os óbitos, descobrindo sua concentração em torno de um poço e mandando lacrar esse poço, representa o espírito do geoprocessamento e ilustra seu principal objetivo, auxiliar na tomada de decisões. O estágio atual das geotecnologias permite fazer uma análise espacial que combine o mapeamento dos problemas urbanos com informações físicas, demográficas, geográficas, topográficas ou de infraestrutura. Esta análise levará, sem dúvidas, a adotar uma solução mais racional que a sugerida pela análise de informações alfanuméricas, e em menor tempo.

Quem nunca ouviu falar da óbvia relação que existe entre o saneamento básico e a saúde dos habitantes de um determinado local? Faz sentido planejar as ações de Saúde Pública ou as obras de infraestrutura sem considerá-las em conjunto? Por incrível que pareça, ainda hoje a maioria de prefeituras brasileiras são incapazes de estabelecer este tipo de relação, não por desconhecimento, mas por falta de mapas, de dados georreferenciados ou de ferramentas computacionais que permitam fazê-lo. Em resumo, por falta de geoprocessamento.

Segue abaixo uma lista de um hall não taxativo dos exemplos de aplicação do geoprocessamento na gestão municipal:

- I. Planejamento Urbano e Meio Ambiente
 - a) Mapeamento do uso atual do solo.
 - b) Mapeamento do zoneamento e uso do solo de acordo à legislação vigente.
 - c) Cadastro de equipamentos públicos e do mobiliário urbano.
 - d) Cadastro de bens próprios, estudos demográficos com dados censitários no nível de bairro ou setoriais.
 - e) Elaboração do mapa ambiental da cidade.
 - f) Controle Urbano
 - g) Licenciamento de obras.
 - h) Fiscalização de obras.
 - i) Controle ambiental.
- II. Finanças
 - a) Manutenção do cadastro imobiliário.
 - b) Manutenção do cadastro mobiliário ou comercial.
 - c) Manutenção do cadastro de logradouros.
 - d) Geração e atualização da planta genérica de valores.
 - e) Espacialização da inadimplência e da dívida ativa.
- III. Saúde
 - a) Abrangência da rede física existente (centros e postos).
 - b) Estudos de localização de novas unidades de saúde.
 - c) Vigilância sanitária.
 - d) Controle epidemiológico.
 - e) Manutenção do cadastro de óbitos e nascimentos.
 - f) Monitoramento do programa “Saúde na Família”.

g) Monitoramento do cartão SUS.

IV. Educação

- a) Abrangência da rede física existente (escolas municipais e conveniadas).
- b) Estudos de localização de novas escolas.
- c) Cadastro e matrícula escolar especializados.

V. Transporte e trânsito

- a) Planejamento e controle do trânsito.
- b) Ampliação do sistema viário.
- c) Planejamento e fiscalização do transporte coletivo.
- d) Sinalização vertical e horizontal.
- e) Pontos críticos (congestionamentos, acidentes, multas).

VI. Infraestrutura e obras públicas

- a) Mapeamento e atualização da rede de drenagem pluvial.
- b) Mapeamento e atualização das redes de serviços de terceiros (energia, esgoto, gás, telefonia).
- c) Mapeamento da iluminação pública.
- d) Mapeamento da pavimentação de logradouros.
- e) Planejamento e acompanhamento de obras executadas pela Prefeitura.
- f) Planejamento e acompanhamento de obras contratadas pela Prefeitura.

VII. Habitação

- a) Mapeamento de assentamentos subnormais.
- b) Programas de desfavelamento.
- c) Regularização fundiária.

VIII. Serviços Urbanos

- a) Coleta de lixo.
- b) Serviço de varrição.
- c) Arborização e paisagismo.
- d) Serviços de poda de árvores.
- e) Criação e manutenção de cadastro florestal.
- f) Manutenção do cadastro de praças.
- g) Programação e fiscalização de feiras livres.
- h) Cadastro de bancas, quiosques e trailers.
- i) Fiscalização da publicidade em áreas públicas (placas e outdoors).

IX. Esporte e lazer

- a) Cadastro de parques, ginásios e áreas de esportes.
- b) Estudos demográficos para localização de novas áreas de lazer.
- X. Assistência Social
 - a) Abrangência de creches e abrigos.
 - b) Mapeamento da mendicância e das crianças de rua.
 - c) Mapeamento das áreas de risco.
 - d) Manutenção de cadastros sócio-econômicos.
- XI. Outras aplicações (para o cidadão)
 - a) Turismo auto-guiado.
 - b) Roteirização com melhores percursos (a pé, em ônibus e em outro veículo)
 - c) Localizador de endereços e pontos notáveis.
 - d) Consultas especializadas (processos, alvarás, impostos, dívida, obras).
 - e) Disponibilização de outras informações municipais.

2.3.1. Sistemas de informações geográficas

O SIG está inserido no conjunto das geotecnologias que tem a função de coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que juntos se constituem em poderosas ferramentas para tomada de decisão. O referido conjunto está entre os três mercados emergentes mais importantes da atualidade, junto com a nanotecnologia e a biotecnologia (NATURE, 2004). Segue abaixo a figura 7 como representação dos conjuntos inseridos no grupo do Geoprocessamento:



Figura 7 - Visão por Conjuntos da Ciência Geoprocessamento

Fonte: Elaboração própria

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas computacionais que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), unindo a base espacial de referência (mapa) e as informações (banco de dados) em torno de objetos geograficamente representados no mapa. Desta forma, o SIG é o sistema que executa atividades que envolvem o geoprocessamento para cada aplicação, isto é, para cada interpretação da realidade. Todo dado geográfico possui dois componentes essenciais: uma localização no espaço geográfico e um ou mais atributos característicos desta localização. Em um SIG, pontos, linhas e polígonos são utilizados para representar feições existentes sobre a superfície terrestre.

Davis Jr. (2002) considera os SIG urbanos potencialmente capazes de atender a uma grande diversidade temática, caracterizada nos governos municipais pelas múltiplas áreas de atuação desses governos locais.

O surgimento dos SIG propiciou uma solução natural para resolver grande parte dos problemas das administrações públicas municipais na medida em que permite uma interação com a informação de maneira intuitiva e real, agregando informações específicas, quando for conveniente, e mantendo uma visão global da realidade analisada segundo Oliveira (1999).

2.3.1.1. Visão Geral

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aumentaram enormemente em proeminência nas últimas duas décadas, de modo que "a integração de modelos de transporte e tecnologias como o SIG tornou-se um requisito importante em qualquer processo de planejamento de transporte" (DUEKER; TON, 2000). Um SIG pode ser definido como um sistema que incorpora os seguintes três componentes básicos para o tratamento de dados espaciais (DUEKER; TON, 2000):

- a) Uma interface de usuário gráfica (GUI) pela qual o usuário interage com o sistema;
- b) Um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) que armazena e gerencia os dados exigidos pelo sistema;
- c) Ferramentas de modelagem espacial que permitem aos usuários manipular os dados armazenados pelo SIG.

Essa capacidade para executar operações espaciais é a principal diferença entre o SIG e outros programas de computador. Existe uma gama de sistemas GIS proprietários, que podem ser utilizados para cumprir as seguintes quatro funções genéricas chave (DUEKER; TON, 2000):

- a) Mapeamento digital GIS, que permite que os usuários se comuniquem de forma interativa com recursos geográficos. As informações são estruturadas em dados espaciais geocodificados e dados de atributo, com objetos espaciais representados como dados vetoriais ou *raster*
- b) Gerenciamento de dados GIS, que organiza recursos de mapa em camadas e liga dados de atributos não-espaciais a recursos espaciais.
- c) Análise de dados GIS, que permite aos usuários configurar consultas espaciais, atribuídas ou combinadas para analisar as relações entre as informações dos bancos de dados.
- d) Apresentação de dados GIS, que permite aos usuários extrair e / ou apresentar dados usando conceitos de mapeamento temático. As capacidades de visualização abrangentes permitem uma análise espacial exploratória detalhada (HEARNshaw; UNWIN, 1994). O SIG baseado na Internet, conhecidos como *WebGIS*, podem permitir que uma ampla gama de usuários visualize, compartilhe e gerencie informações geográficas (TANG; WATERS, 2005).

Os formatos de dados SIG são:

- a) Os dados espaciais podem ser representados em um SIG em um dos dois formatos. O primeiro é o formato vetorial, onde os recursos são representados usando uma estrutura baseada em coordenadas como pontos, linhas ou polígonos. Os mapas resultantes se assemelham bastante aos mapas de papel convencionais, com cada posição possível no mapa com um valor de coordenada exclusivo. Alternativamente, os dados podem ser representados no formato *raster*, onde os atributos estão associados a um determinado conjunto de células da grade. A localização de objetos geográficos é definida pela posição de linha e coluna das células que eles ocupam, com a resolução espacial (e exatidão) do mapa dependendo do tamanho da célula.
- b) Os dados de *raster* têm uma estrutura simples (embora menos compactos do que os dados vetoriais), e torna as operações de sobreposição diretas. No entanto, sua

saída gráfica pode ser pouco atrativa (a estrutura baseada em células pode dar uma aparência de bloqueio), e a análise da rede (crucial em muitos aplicativos de transporte) usando esses dados é extremamente difícil. Em contraste, a análise da rede é direta usando dados vetoriais, devido à sua codificação eficiente da topologia (OCHIENG, 2006), e a resolução espacial dos mapas resultantes é limitada apenas pela precisão das coordenadas.

Felizmente, a maioria dos SIG pode processar e exibir dados vetoriais e *raster* em paralelo, permitindo que o formato mais apropriado seja usado para cada aplicativo.

2.3.1.2. Uso de SIG no modelo de demanda ferroviária

O uso do SIG na modelagem da procura ferroviária até agora tem sido bastante limitado, mas Preston (2001) sugere uma série de áreas potenciais onde podem ser úteis, como na melhoria de modelos agregados, adotando uma abordagem mais flexível para a definição das áreas de captação (LYTHGOE, 2004) ou fornecendo uma gama mais ampla de dados geodemográficas para modelos de taxa de viagem. Alguns aprimoramentos baseados no SIG já foram realizados, com Whelan e Wardman (1999) usando um SIG para fornecer informações sobre populações e características socioeconômicas para o modelo de soma, e Lane et al (2006) usando o TransCad (*software*) para coletar e processar dados para seus modelos de fim de viagem. Da mesma forma Wardman et al (2007) usaram o sistema CACI *InSite* para fornecer informações sobre população, renda familiar média, propriedade do carro, status de emprego, grupo socioeconômico, idade, gênero e tempo de condução para a estação de captações da estação. Outro exemplo é o uso de Lythgoe (2004) de uma representação GIS da rede rodoviária com base nos tecidos OS '*Strategi*' para determinar os tempos de acesso e as distâncias dos centros de população zonal para as estações.

Ainda Buliung e Kanaroglou (2006) desenvolveram extensões para o *software* ArcGIS para investigar o comportamento de atividade / viagem em nível doméstico em Portland, Oregon, que, embora não especificamente relacionado à demanda ferroviária, indica o potencial de trabalho nessa área. Hsiao et al (1997) utilizou o SIG para realizar um acesso de parada de ônibus de análise em todo o sistema em Orange

County, Califórnia, comparando as bacias definidas usando uma área de *buffer* (área dentro de uma certa distância de linha reta da estação) e usando uma distância máxima baseada na rede rodoviária. Os SIG também são usados em aplicações comerciais, como os sistemas de segmentação MOSAIC da Experian, que oferecem uma ampla gama de classificações geodemográficas que permitem às empresas melhorar suas estratégias de marketing (EXPERIAN, 2006).

2.3.1.3. Uso de SIG neste estudo

O grande volume de dados disponíveis para uso em modelos de demanda ferroviária pode parecer esmagador, e, obviamente, é necessário um meio de processamento e integração desses conjuntos de dados para este estudo. O SIG assumiu esse papel, podendo integrar dados de diferentes fontes, para processar esses dados e fornecer informações adicionais e para apresentar os resultados do processamento e modelagem de dados de uma forma que permita uma compreensão e interpretação menos complexas. As capacidades de exibição visual do SIG foram cruciais ao usar técnicas de análise locais, pois permitiram que as estatísticas locais fossem mapeadas, permitindo a identificação de variações espaciais nessas estatísticas e permitindo que os modelos e conjuntos de dados fossem corrigidos e aprimorados. O SIG principal utilizado no trabalho foi o ArcGIS, pois se esperava que isso pudesse melhorar a qualidade da análise de rede, já que tinha uma funcionalidade mais ampla nisso. Outros dois SIG utilizados, o Google Earth e Google Maps, auxiliaram a coleta de dados na etapa inicial do procedimento de pesquisa das variáveis explanatórias.

2.4. PLANEJAMENTO URBANO

A expressão “planejamento urbano” surge na Inglaterra e nos Estados Unidos conferindo um novo enfoque à compreensão da cidade e dos seus problemas (KOHLSDORF, 1985). Reconhece, por exemplo, o dinamismo do fenômeno urbano, onde a cidade é fruto de sua própria história que também evolui no tempo sendo vista como produto de um determinado contexto histórico diferentemente do modelo ideal concebido pelos urbanistas. Mais que isso, o instrumento de planejamento urbano busca responder aos problemas urbanos que não são resolvidos pelos urbanistas modernos, nem os que acabam por serem causados por eles.

Parte desses problemas foi agravada pelo contínuo processo de crescimento mundial e pela concentração deste em se materializar predominantemente nas áreas urbanas. Esse quadro mundial refletiu no Brasil: o crescimento populacional se deu de forma vertiginosa nos últimos 20 anos, passamos de 30 milhões de habitantes em 1920 para 190 milhões em 2010, que foi acompanhado pela forte e crescente concentração dessa população nas áreas urbanas das cidades. Hoje, do total da população brasileira, 84,35% vivem em áreas urbanas (IBGE, 2010).

2.4.1. Legislação e Gestão Pública

Historicamente, o Planejamento Urbano, materializado através do Plano Diretor, passou por inúmeras mudanças em sua estrutura (VILLAÇA, 1999), que podem ser dispostas em três grandes momentos. Inicialmente, no começo do século passado, as propostas contidas no instrumento de Planejamento Urbano priorizavam melhoramentos e projetos de embelezamentos dos grandes centros das cidades no Brasil (em uma tentativa de romper com a estrutura colonial presente até aquele momento). Em seguida, o Planejamento passou a ser caracterizado pela presença de uma forte técnica com base científica a fim de solucionar os problemas ditos urbanos. O terceiro momento do Planejamento é caracterizado pela proposta atual dos planos diretores em que busca contemplar aspectos econômicos, físicos, sociais e políticos das cidades (VILLAÇA, 1999).

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, no início do processo de redemocratização do País, um novo elemento foi agregado à discussão sobre o Plano Diretor: a função social da cidade. Segundo o texto, o ordenamento territorial seria

regido pelo Poder Público Municipal e caberia a ele fixar, por lei, o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e o bem-estar de seus habitantes.

Desta forma, os municípios com mais de 20 mil habitantes possuem a obrigatoriedade de elaborar seus Planos Diretores. A ideia por trás dessa obrigatoriedade para municípios também de pequeno porte estaria na municipalização da Reforma Urbana, garantindo a aplicação da função social da cidade e do bem estar da cidade.

A regulamentação do Estatuto da Cidade - Artigos 182 e 183 da Constituição Federal - foi importante para o estabelecimento de diretrizes gerais da política urbana brasileira. No entanto, grande parte das responsabilidades foi delegada aos municípios, desconsiderando as especificidades políticas e os interesses políticos/econômicos locais dos gestores municipais (SOUZA; RODRIGUES, 2004).

Salienta-se a importância do município em ter um instrumento legal, o Plano Diretor, para planejar e fazer a gestão do território municipal. Todavia, na gestão do espaço urbano, existem diversas irregularidades (construções e ocupações irregulares) no uso e ocupação do solo, que acontecem devido ao jogo de interesses políticos e econômicos do poder público municipal, dos empresários (imobiliários) e de parte da sociedade, que agem atendendo aos interesses individuais, principalmente financeiros, em detrimento aos interesses coletivos.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (1992, p.01), os Planos Diretores seriam constituídos de, pelo menos, três partes: a fundamentação, as diretrizes e a instrumentação. A fundamentação do Plano Diretor seria “explicitada pelos objetivos, caracterização, diagnósticos e prognósticos, alternativas e critérios de avaliação” (ABNT, 1992). As diretrizes explicariam os horizontes que o Plano Diretor deveria tomar a partir do seu estabelecimento. E por fim, a instrumentação seria “constituída de documentos legais, técnicos, orçamentários, financeiros e administrativos, de forma a integrar os programas, orçamentos e investimentos do município com as suas diretrizes, viabilizando sua implementação”.

Em 2003, o Governo Federal instituiu o Ministério das Cidades, importante conquista para fortalecer o campo do Planejamento Urbano Nacional, que tem a intenção de melhor gerir as questões sobre o tema e prestar apoio aos municípios que tenham intenção – ou obrigação – de criar seus Planos Municipais.

Elementos como uso e ocupação do solo, diretrizes acerca do transporte e da mobilidade urbana, saneamento básico municipal e preservação ambiental, instituição de conselhos municipais a fim de constatar com um efeito controle social e diretrizes habitacionais como as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) são itens detalhados pelos Planos Diretores Municipais.

Na política urbana, as diretrizes do Estatuto da Cidade demonstram que o Plano Diretor deve ser compatível com a política de mobilidade urbana, propondo a elaboração de um plano de transporte urbano integrado para as cidades com mais de 500 mil habitantes, justamente para viabilizar os fluxos de cargas, passageiros e pedestres no espaço urbano. A política de mobilidade é importante na viabilização do acesso amplo e democrático das pessoas ao espaço urbano, promovendo, assim, uma infraestrutura adequada à construção de uma cidade sustentável, que resulte no desenvolvimento econômico e social urbano e na melhoria da qualidade de vida da população.

2.4.2. Mobilidade Urbana e Desenvolvimento Sustentável

Segundo Steg e Gifford (2005) o desenvolvimento sustentável na mobilidade urbana está associado ao equilíbrio entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais, tanto no presente como nas futuras intervenções urbanas. Este conceito foi adotado inicialmente na Europa, América do Norte e Austrália (RICHARDSON, 2005). No Brasil esta visão ainda é recente, e o conceito está sendo incorporado gradativamente nas discussões dos Planos Diretores de Transportes e Mobilidade (SILVA *et al.*, 2007).

Na visão do Ministério das Cidades (2006), a mobilidade urbana sustentável é constituída por um conjunto de políticas de transporte e de circulação, tendo em vista a priorização do transporte não motorizado e coletivo, a não geração de segregação socioespacial, a inclusão social, sustentabilidade ambiental, melhorias nas condições de deslocamentos e o planejamento da mobilidade no crescimento da estrutura espacial da cidade. Essas medidas buscam melhorar a circulação nas cidades a partir da redução dos fluxos de transporte motorizado e dos conflitos no trânsito. Em cidades onde os fluxos não param, melhorar a mobilidade não é algo simples, e sim muito complexo.

Para Vasconcellos (2005), os principais problemas na mobilidade urbana são: a exclusão social que restringe o acesso de pessoas aos sistemas de transportes, a priorização do transporte individual (automóvel) em detrimento do transporte coletivo, que ocupa muito espaço público com vias e estacionamentos, o intenso tráfego nas áreas urbanas, que resulta nos congestionamentos, conflitos, poluição e acidentes de trânsito. Nas palavras de Resende e Ferreira (2009), os problemas da mobilidade urbana estão associados, também, ao incentivo, por parte do poder público, à circulação de veículos motorizados particulares nas cidades, ao baixo estímulo ao uso do transporte coletivo, ao aumento dos congestionamentos, às altas tarifas e à baixa qualidade na operação do transporte público. E, também, ao fato de o transporte não motorizado enfrentar o problema da inexistência de vias específicas de circulação, além do comportamento inadequado dos motoristas no trânsito das cidades.

Na organização do espaço urbano, o trânsito é um dos grandes problemas, onde o acidente acaba sendo uma externalidade negativa na política de planejamento e gestão urbana, trazendo sérios transtornos para a sociedade, na contemporaneidade. As cidades estão ficando cada vez mais repletas de veículos automotores, devido às tentações da indústria automobilística e às facilidades de crédito para a aquisição de veículos automotores. E, nesse sentido, a estrutura das cidades quase não suporta mais os intensos fluxos de carros, principalmente nos horários de pico, que geram os grandes congestionamentos e resultam em perdas econômicas e sociais, nas quais podem ser incorporados os custos dos acidentes de trânsito.

O desenvolvimento sustentável é aquele que responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades. É um processo que associa três importantes dimensões: ambiental, econômica e social, estabelecendo uma correlação entre esses três pólos, garantindo a eficácia econômica e a proteção do meio ambiente, sem perder de vista as finalidades sociais que são a luta contra a pobreza, as desigualdades, a exclusão e a busca da equidade. De forma análoga, segundo a UITP - *International Association of Public Transport*, a base para uma mobilidade sustentável está na inter-relação entre os seguintes componentes: meio ambiente, economia e sociedade. O equilíbrio entre estes três componentes proporcionará: a realização das necessidades das pessoas no que se refere à qualidade de vida e acessibilidade; o respeito ao *habitat*,

causando o menor impacto pelas atividades humanas e, no tocante à economia, ela está relacionada aos recursos disponíveis, ou ao modo como estes recursos possam satisfazer as necessidades de cada cidadão (BLACK *et al.*, 2002; STENG e GIFFORD, 2005; RICHARDSON, 2005).

As cidades que consideram as políticas relacionadas à integração entre mobilidade e sustentabilidade urbana garantem maior eficiência e dinamismo das funções urbanas, com maior e melhor circulação de pessoas e mercadorias. Isto se reflete na valorização do espaço público, na sustentabilidade e no desenvolvimento da cidade, conciliando as dimensões ambiental, social e econômica (MINISTÉRIO DAS CIDADES e IBAM, 2004).

3. REFERENCIAL METODOLÓGICO

3.1. FATORES ESSENCIAIS E DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS

Para este tópico será apresentado um resumo dos estudos realizados pelos seguintes pesquisadores: SIMON P BLAINEY (2013), NAHID MOHAJERI (2010), SVETLA STOILOVA (2016), e STEFAN ZEMP (2011). Os referidos estudos juntamente com a oferta de dados disponibilizados pelo Município de Belo Horizonte e órgãos pertinentes para análise espacial e avaliação do corpo técnico da Companhia Brasileira de Trens Urbanos culminará na definição dos critérios utilizados no Capítulo 5, METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.

Simon P Blainey et al (2013) reuniu informações sobre o processo de escolha de local potencial para receber uma estação ferroviária com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento. A primeira etapa na previsão da demanda por novas estações ferroviárias deve ser a identificação de possíveis locais de estações. No entanto, esse processo foi largamente negligenciado nas discussões de modelos de demanda, com a maioria dos trabalhos assumindo que os locais já foram identificados antes que os modeladores chegassem à cena. O relatório ATOC “*Connecting Communities*” identificou 75 assentamentos que poderiam ser atendidos por novas estações com base no tamanho da população (ATOC, 2009), mas esse procedimento não identificou sites reais para essas estações. No que diz respeito ao autor, o único procedimento explícito para a identificação de locais possíveis para novas estações, que leva em conta as condições locais, foi delineado por Preston (1987; 2001), e isso envolve as seguintes etapas, que podem ser automatizadas usando um SIG:

- a) Definir área de pesquisa;
- b) Excluir da área de influência uma faixa dentro da distância definida pelas estações existentes (aprox. 1 Km);
- c) Excluir o caminho onde as restrições de engenharia tornariam os custos de construção da ferrovia inviáveis (viadutos, túneis, interferências de grande vulto);
- d) Excluir locais onde a densidade populacional está abaixo de um valor definido como sendo a densidade marginal em que uma estação seria viável.

Horner e Grubestic (2001) delinearam uma metodologia baseada em GIS para avaliar locais potenciais para estações de estacionamento e estações de passeio em

Columbus, Ohio, onde não havia serviços ferroviários locais pré-existentes. Isso só considerou o acesso por carro e a identificação do site era algo arbitrária, mas ainda ilustra o potencial de SIG para auxiliar na identificação de locais para novas estações. Embora existam outros métodos matemáticos centrados em "distâncias ótimas da estação", com base no trabalho de Vuchic (1966), estes fazem uma série de premissas idealizadas e são pouco úteis em situações da vida real.

Idealmente, o planejamento de novos locais de estações deve ser integrado com o planejamento mais amplo do uso da terra para maximizar o uso potencial, localizando novos geradores de tráfego / atrativos perto das estações. No entanto, o curto prazo significa que as empresas operadoras de trem podem não ter recursos para interagir com os regimes de uso e planejamento de terras da autoridade local (HEYWOOD, 2007).

A Situação clássica de modelo de demanda por ferrovia:

a) A relação entre a modelagem da demanda ferroviária e o modelo "clássico" de quatro etapas da demanda de viagens (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001) é bastante complexo. Este modelo "clássico" é mais uma estrutura do que um modelo detalhado e divide a modelagem da demanda em fases de geração de viagem, distribuição de viagem, escolha de modo e escolha de rotas. Em contrapartida, os modelos de demanda ferroviária tendem a combinar o primeiro e o terceiro estágio desse processo, assumindo que a escolha do modo é um dos determinantes do potencial de geração de viagem de uma estação ferroviária, embora a escolha do modo muitas vezes não seja explicitamente considerada. Os modelos que preveem a escolha da estação de destino (estágio dois do modelo clássico) seguem a partir da estimativa de geração de viagem ou usam dados observados na geração de viagem. A escolha da rota raramente é considerada na modelagem da demanda ferroviária (particularmente para as novas estações), exceto em certos casos especiais, pois essa escolha geralmente é extremamente limitada.

Nahid Mohajeri et al (2010) apresentou o problema da seleção e escolha de local para implantação de uma estação ferroviária como um modelo hierárquico composto por quatro níveis, cada um com seus próprios critérios principais. Os principais critérios são:

a) Serviços ferroviários;

- b) Serviços de passageiros;
- c) Arquitetura e urbanismo;
- d) Economia.

Cada um desses critérios principais é dividido em vários subcritérios, dando um total de 26 subcritérios. Além disso, o modelo hierárquico possui cinco estações ferroviárias potenciais, como candidatos ou alternativas. Utilizou-se ainda o julgamento perito para realizar as comparações parciais individuais no *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O contexto resumidamente deste trabalho foi: A província de Korasan Razavi está localizada no nordeste do Irã. A estação ferroviária Mashhad é uma instalação multifuncional localizada no centro da cidade de Mashhad. Esta região central está nas proximidades das ferrovias do leste e do nordeste. Além disso, as estações de trem Neghab e Kashmar, ambas próximas da fronteira entre o Irã e o Turquemenistão, possuem estações finais nas regiões adjacentes. Por causa da posição e do papel de lazer, cultural e religioso da cidade de Mashhad, há uma grande quantidade de atividades na cidade, muitas das quais dependem da ferrovia. Além disso, a estação ferroviária de Mashhad serve seis linhas principais e oito linhas secundárias, cujo comprimento total dentro da estação é de cerca de 28 km. A estação está equipada com quatro plataformas de passageiros, mas não são suficientes para suportar o aumento esperado no número de passageiros e serviços ferroviários associados que são necessários. A estação ferroviária Mashhad ocupa uma área de 175 hectares e está localizada em um centro da cidade de alta qualidade. As linhas ferroviárias entram em conflito com as estruturas urbanas circundantes. A estação ferroviária de Mashhad precisa ser melhorada por várias razões, incluindo o seguinte: (1) a capacidade limitada da construção da estação, (2) o pequeno tamanho da frota ferroviária, (3) a falta de uma boa infraestrutura, (4) problemas ambientais como a poluição visual e sonora em torno da estação, e (5) um aumento esperado no fluxo de passageiros e carga transferida pela estação em um futuro próximo.

A escolha de possíveis alternativas para o local da estação ferroviária, bem como a seleção dos principais critérios e subcritérios relacionados, foi feita com base nos resultados dos estudos de transporte e urbanos, ferroviários, ambientais e econômicos. Além disso, as restrições relacionadas aos locais em potencial, padrões mundiais, regulamentos e princípios para a seleção do local também foram

consideradas (AMERICAN PLANNING ASSOCIATION, 2006; AREMA, 2006; NIJKAMP, 2004; ROSS, 2001). Mais especificamente, os principais princípios são os seguintes:

- a) Tempo de viagem para a estação ferroviária.
- b) Distância da estação ferroviária para o transporte público e outras instalações.
- c) Segurança e coordenação com instalações de defesa civil.
- d) Compatibilidade e harmonização com o meio ambiente.
- e) Ajuste para o presente e futuras estruturas da cidade futuras.

Para Svetla Stoilova et al (2016), em estudo realizado na Bulgária, a estação ferroviária é avaliada de acordo com o assentamento que serve. Os fatores que servem para caracterizar as estações de acordo com as paradas dos trens rápidos e expressos são escolhidos com base nos parâmetros que caracterizam o potencial da localização, infraestrutura e volumes de transporte. São examinados quatro grupos de fatores associados ao potencial de recursos da localização e infraestrutura da estação ferroviária:

- I. Potencial da cidade onde a estação está localizada. Isso inclui dados demográficos, bem como indicadores territoriais e socioeconômicos
 - a) Densidade populacional (número de habitantes / km²).
 - b) Área da cidade, km².
 - c) Número de alunos. Esse fator determina o significado em termos de potencial educacional e mostra o número potencial de clientes que usam descontos quando viajam por via férrea.
 - d) Número de população em idade de trabalhar (mais de 18 anos). Este fator fornece informações sobre a população potencial que precisa de empregos e pode usar os serviços de transporte ferroviário para e do trabalho.
 - e) Número de idosos (mais de 63 anos). Este fator indica o número potencial de clientes que utilizam os descontos durante a viagem.
 - f) Número de escolas. Esse fator determina o significado em termos de potencial educacional.
 - g) Número de universidades. Este fator também mostra a importância em termos de potencial educacional.

- h) Salário médio mensal. Este indicador pode avaliar o nível econômico da cidade. Assentamentos com valores elevados deste parâmetro podem ser centros de gravidade para viagens de trabalho.
- II. Importância da cidade onde a estação está localizada como um centro administrativo, econômico, industrial e cultural
- a) Centro regional. A região é uma grande unidade territorial e abrange várias áreas. Para exemplificação, a Bulgária é separada em seis regiões de planejamento composta por 4 ou 5 distritos: o Sudoeste, o Sul-Central, o Sudeste Nas regiões Nordeste, Norte-Central e Noroeste, cada um tem um centro econômico regional. Essas cidades têm uma população de mais de 100 mil pessoas.
 - b) Centro distrital. A área é uma unidade administrativo-territorial na divisão administrativo-territorial contemporânea. Por exemplo, na Bulgária há 28 áreas.
 - c) Participação da cidade como unidade administrativa e econômica. Se a cidade não cumprir a função do centro municipal, distrital ou regional.
- III. Fatores de infraestrutura
- a) Número de conexão: esse fator indica as capacidades técnicas da estação para enviar e receber trens e sua conexão com outros modais de transporte.
 - b) A importância da estação em relação à sua localização na rede ferroviária.
 - c) Uma estação de junção que fornece um link entre as principais linhas ferroviárias (junções grandes). Essas junções também oferecem conexões na estação com outros modos de transporte.
 - d) A estação de junção que fornece conexões entre as linhas ferroviárias principal e secundária (junções pequenas). Este indicador mostra o potencial de transferência de passageiros e ligações entre o tráfego ferroviário de longa distância e suburbano.
- IV. Características dos passageiros que partem da estação
- a) Número de passageiros pelo mês que partiu pelo trem rápido e expresso da estação da rede ferroviária.

- b) O número de passageiros partiu para o mês com todas as categorias de trens de passageiros na estação do número da rede ferroviária. Este fator leva em consideração a carga de trabalho geral da estação.
- c) Distância de passageiros transportados. É igual à soma de toda distância percorrida pelos passageiros que partiram da estação. Este fator apresenta a medida do transporte ferroviário de passageiros a partir da estação.
- d) Distância média percorrida pelos passageiros da estação [km]. É calculado dividindo o número de passageiros transportados por quilômetro pelo número de passageiros que partem da estação. Esse fator indica o comprimento médio das viagens de um dia da estação.

Após definir as cinco funções genéricas das estações já descritas nessa dissertação, Stefan Zemp *et al* (2011) sugere em seu trabalho 10 indicadores relevantes para as funções respectivas e 14 fatores de contexto também relativos a este tema. Para Zemp (2011) os 10 indicadores e suas respectivas descrições são:

- a) Trabalho - Número de postos de trabalho em um raio de 700m.
- b) População - Número de moradores em um raio de 700m.
- c) Centralidade - Distância média e moradores em um raio de 700m.
- d) Centro Regional - Principal estação do centro regional
- e) Distribuição de frequência - Frequência de passageiros no fim de semana comparado aos dias da semana.
- f) Turismo - Demanda de turista para cada 1000 residentes da região municipal
- g) Acessibilidade - Número de estações acessíveis em um deslocamento de 20 minutos.
- h) Trens intermunicipais - Número de partida de trens intermunicipais da estação.
- i) Trens regionais - Número de partida de trens regionais da estação.
- j) Ônibus - Número de partida de ônibus da estação.

Os critérios apresentados foram discutidos e apontados para cenários semelhantes ao proposto dessa dissertação. Dessa forma deve ser feita uma calibração através de avaliações dos critérios e fatores utilizados para que se possa adequar a situação proposta.

A etapa de calibração desses fatores e critérios foi feita em conjunto com especialistas do campo ferroviário na Companhia Brasileira de Trens Urbanos e

através do conhecimento prático do local de estudo que é o município de Belo Horizonte. Workshops realizados como o II Workshop de Inteligência Geográfica Aplicada ao Planejamento de Transporte, possibilitaram ainda o encontro com mais especialistas do assunto e da região de Belo Horizonte.

Assim como será detalhado no capítulo 4, o local de estudo deste trabalho será a região centro-sul de Belo Horizonte, um local já consolidado nos aspectos urbanos de comércio, serviço, moradias, fluxo de viagens e infraestrutura urbana. E nessa região descrita serão propostos a inserção de novas estações ferroviárias. A partir desse contexto e da consolidação de critérios e fatores definidos pelos autores citados, segue abaixo a tabela 1 que apresenta como coluna 7 o resultado e critérios a serem utilizados no tópico 5.2:

Tabela 1 - Consolidação de critérios e fatores de caracterização de estações ferroviárias

Fonte: Elaboração própria

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Fatores por				Mix de critérios e subcritérios dos autores	Critérios aplicáveis para o estudo de caso "Belo Horizonte"	Critérios disponíveis para estudo de caso e análise espacial com auxílio de ferramentas SIG
N. Mohajeri, G.R. Amin (2010)	S. Stoilova, R. Nikolova (2016)	Stefan Zemp (2011)				
Relativo à ferrovia	Peso de importância	Fatores de infraestrutura	Trens intermunicipais	Número de partida de trens intermunicipais	Disponibilidade de integração modal	Quantidade de pontos de ônibus
	0,238		Trens regionais	Número de partida de trens regionais		
			Ônibus	Número de partida de ônibus		
Serviço de passageiros	0,172	Características dos passageiros	Distribuição de frequência	Frequência de passageiros no fim de		
Arquitetura e Urbanismo	0,358	Potencial da cidade onde a estação está localizada	População	Densidade demográfica	Densidade demográfica	Densidade demográfica
				Área da cidade	Densidade de domicílios	Densidade de domicílios
			Acessibilidade	Número de estudantes		
			Centro Regional	Número de trabalhadores		
			Trabalho	Número de aposentados		
				Número de escolas		
				Número de universidades		
Econômico	0,232	Importância da cidade onde a estação está localizada como um centro administrativo, econômico, industrial e cultural	Turismo	Centro regional	Estabelecimentos de comércio e serviço	Estabelecimentos de comércio e serviço
			Centralidade	Centro distrital	Renda mensal média	Renda mensal média
				Participação da região como unidade econômica e administrativa	Centralidades da região	Centralidades da região
				Demanda de turista para cada 1000 residentes	Estabelecimentos culturais	Estabelecimentos: áreas culturais, parques, praças, shoppings, escolas, universidades, hospitais.

Serão ilustrados os critérios selecionados para caracterização dos locais em potencial para implantação de estações ferroviárias da coluna 7, representando os quatro grandes grupos de critérios:

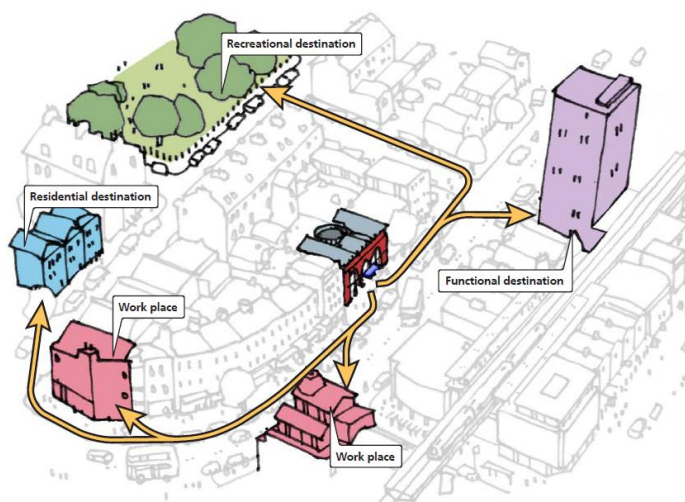


Figura 8 - Distribuição dos usuários das estações para locais diversos

Fonte: Manual TFL (2015)

A figura 8 representa os diversos estabelecimentos que caracterizam a zona de influência: prédios de trabalho, residenciais, edificações de comércio e serviço e destinos recreativos como parques e praças.

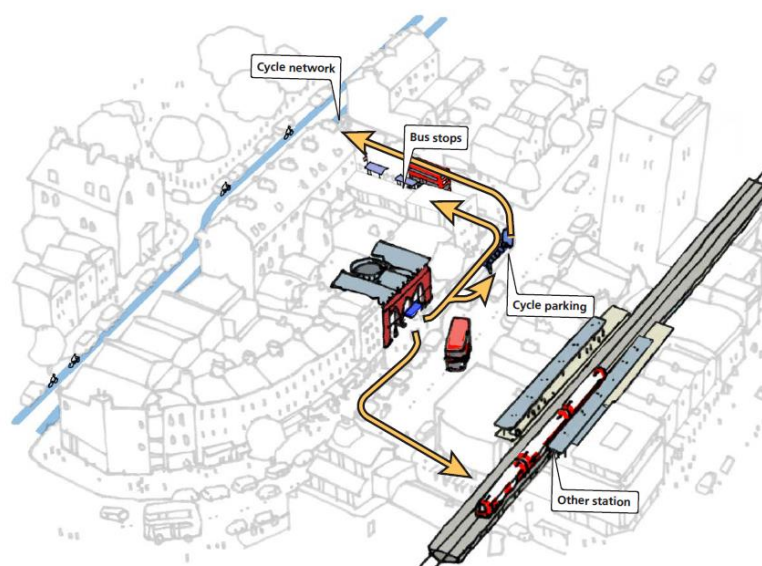


Figura 9 - Caracterização da vizinhança por integração modal

Fonte: Manual TFL (2015)

A figura 9 ilustra a vizinhança das estações ferroviárias com possíveis integrações modais essenciais para funcionamento da mobilidade urbana na região: outros sistemas sobre trilhos, paradas de ônibus e estacionamentos para bicicletas.

3.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA ESPACIAL

Há algum tempo, os modelos estatísticos vêm influenciando e sendo influenciados pelas representações espaciais, nascendo a chamada geoestatística. O corpo metodológico deste tipo de análise consiste basicamente em um conjunto de instrumentos estatísticos que quantificam a grandeza espacial do objeto de estudo, em modelos de interpolação espacial tendo por base a sua variabilidade estrutural, e em modelos de simulação estocástica que quantificam a incerteza ligada ao fenômeno espacial (SOARES, 2000).

As técnicas de análise exploratória aplicadas a dados espaciais são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem estatística espacial, em geral sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade. As técnicas empregadas são, em geral, adaptações das ferramentas usuais. Assim, se na investigação de valores extremos se utiliza ferramentas gráficas como histogramas ou *boxplots*, na análise espacial é importante também investigar *outliers* não só no conjunto dos dados mas também em relação aos vizinhos. Além disso, a não estacionariedade do processo espacial na região de estudo também deve ser investigada, nos seus vários aspectos: variação na média (primeira ordem), na variância e na covariância espacial. Será apresentado a seguir algumas dessas técnicas que serão utilizadas na metodologia e desenvolvimento do trabalho que são: diagramas de dispersão, análise visual de mapas, análise de agrupamentos ("*cluster*"), índice global de Moran, *hotspots*, método Kernel, regressão linear e regressão geograficamente ponderada.

3.2.1. Diagrama de dispersão e correlação linear

Um dos métodos mais usados para a investigação de pares de dados é a utilização de diagramas de dispersão cartesianos (ou seja, os conhecidos diagramas x-y). Geometricamente, um diagrama de dispersão é simplesmente uma coleção de pontos num plano cujas duas coordenadas cartesianas são os valores de cada membro do par de dados.

E qual a razão de se fazer um diagrama de dispersão? Porque este é o melhor método de examinar os dados no que se refere à ocorrência de tendências (lineares ou não), agrupamentos de uma ou mais variáveis, mudanças de espalhamento de uma variável em relação à outra e verificar a ocorrência dos valores discrepantes.

O diagrama de dispersão mostrará que a correlação será tanto mais forte quanto mais próximo estiver o coeficiente de -1 ou $+1$, e será tanto mais fraca quanto mais próximo o coeficiente estiver de zero.

- a) Correlação perfeita negativa ($r_{xy} = -1$): Quando os pontos estiverem perfeitamente alinhados, com valores incrementando-se em sentido contrário, a correlação é denominada perfeita negativa.
- b) Correlação negativa ($-1 < r_{xy} < 0$): A correlação é considerada negativa quando valores crescentes da variável X estiverem associados a valores decrescentes da variável Y, ou valores decrescentes de X associados a valores crescentes de Y.
- c) Correlação nula ($r_{xy} = 0$): Quando não houver relação entre as variáveis X e Y, ou seja, quando os valores de X e Y ocorrerem independentemente, não existe correlação entre elas.
- d) Correlação positiva ($0 < r_{xy} < 1$): Será considerada positiva se os valores crescentes de X estiverem associados a valores crescentes de Y.
- e) Correlação perfeita positiva ($r_{xy} = 1$): A correlação linear perfeita positiva corresponde ao caso anterior, só que os pontos (X, Y) estão perfeitamente alinhados.

- f) Correlação espúria: Quando duas variáveis X e Y forem independentes, o coeficiente de correlação será nulo. Entretanto, algumas vezes, isto não ocorre, podendo, assim mesmo, o coeficiente apresentar um valor próximo de -1 ou $+1$. Neste caso a correlação é espúria.

A figura 10 a seguir ilustra a descrição dos itens “a” a “f”.

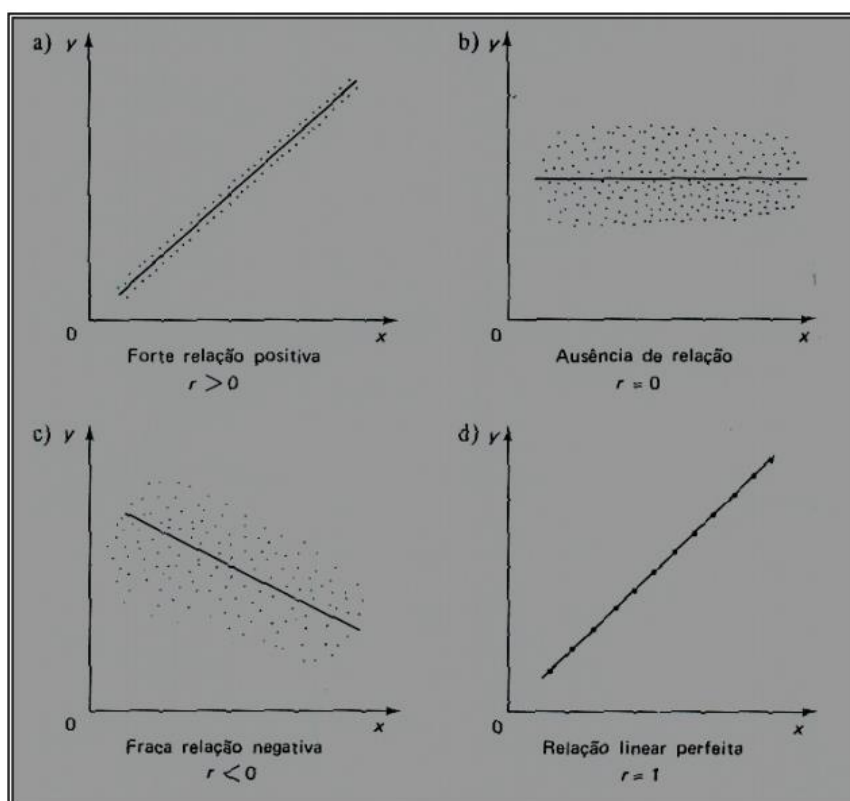


Figura 10 - Teoria do Grafico de Dispersão

Fonte: ArcgisHelp (2010)

3.2.2. Método de Densidade Kernel

As superfícies de densidade são usadas na representação da distribuição de pontos e linhas. Esse tipo de análise pode evidenciar padrões na base de dados que não seriam perceptíveis, se analisados de outras formas. A densidade é calculada pela quantidade de registros por unidade de área, por exemplo, a quantidade de infrações de trânsito em um mês por bairro da cidade. O cálculo da densidade pode

ser feito para coisas contáveis: objetos discretos ou eventos (negócios, árvores, roubos de carro, epicentros de terremoto) e seus atributos (empregados nos negócios, tipos de árvores, valor dos carros roubados, magnitude dos terremotos).

Na maioria dos softwares de geoprocessamento, a densidade pode ser calculada por dois métodos: simples e Kernel. Ambos os métodos empregam uma vizinhança circular ou área de pesquisa para realizar o cálculo de densidade. No presente trabalho, utiliza-se o método de densidade Kernel. A diferença entre os dois métodos é que a superfície criada pelo método Kernel tem aparência mais suave, se comparada ao método simples. A figura 11 representa a sobreposição utilizada no método Kernel.

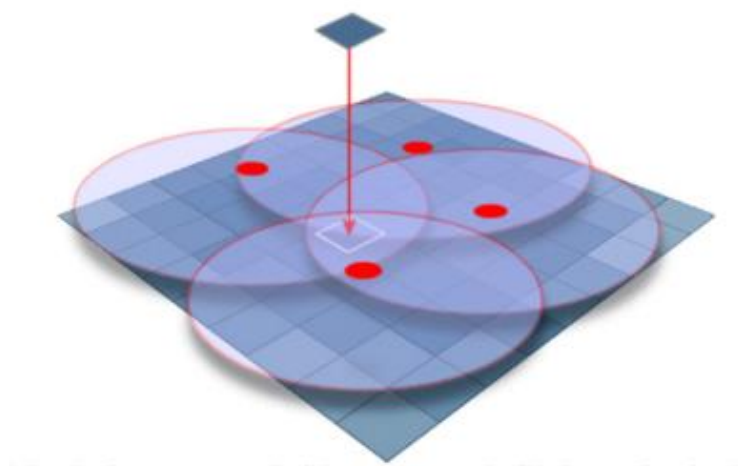


Figura 11 - Ilustração da Teoria de Cálculo da Densidade Kernel

Fonte: ArcgisHelp (2010)

3.2.3. Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*)

O agrupamento é útil em várias situações exploratórias de análise, tomada de decisão e aprendizagem mecânica, incluindo mineração de dados, recuperação de documentos, segmentação de imagens e classificação de padrões. No entanto, em muitos desses problemas, há poucas informações prévias (por exemplo, modelos estatísticos) disponíveis sobre os dados, e o tomador de decisão deve fazer tão poucos pressupostos sobre os dados quanto possível. É sob essas restrições que a metodologia de agrupamento é particularmente apropriada para a exploração de inter-

relações entre os pontos de dados para fazer uma avaliação (preliminar) de sua estrutura.

O termo "*clustering*" é usado em várias comunidades de pesquisa para descrever métodos para o agrupamento de dados não marcados. Essas comunidades têm terminologias e pressupostos diferentes para os componentes do processo de agrupamento e os contextos em que o cluster é usado.

Um dos objetivos deste trabalho é aplicar o conceito de análise de agrupamento para análise visual de mapas em outras ferramentas de estatística espacial que geram mapas com tendências de "*clustering*" ou não.

A análise de clusters pretende organizar um conjunto de casos em grupos homogêneos, de tal modo que os indivíduos pertencentes a um grupo são o mais semelhante possível entre si e diferentes dos restantes. A atividade típica de agrupamento de padrões envolve as seguintes etapas (JAIN e DUBES, 1988):

- a) Representação do padrão;
- b) Definição de uma medida de proximidade de padrão apropriada para o domínio de dados;
- c) Agrupamento;
- d) Abstração de dados;
- e) Avaliação da saída.

3.2.4. Autocorrelação espacial e estatística de I Moran

A autocorrelação espacial pode ser calculada por meio da estatística I de Moran. Esta estatística fornece a indicação formal do grau de associação linear entre os vetores de valores observados no tempo e a média ponderada dos valores da vizinhança, ou os *lags* espaciais.

Quando a matriz de pesos espaciais é normalizada na linha, em outras palavras, quando os elementos de cada linha somam 1. É importante ressaltar que a estatística I de Moran é uma medida global, portanto não é possível observar a estrutura de correlação espacial em nível regional.

Segundo Anselin (1996), o diagrama de dispersão de Moran é uma das formas de interpretar a estatística I de Moran. O diagrama de dispersão de Moran é dividido

em quatro quadrantes. Estes quadrantes correspondem a quatro padrões de associação local espacial entre as regiões e seus vizinhos.

O primeiro quadrante mostra as regiões que apresentam altos valores para a variável em análise (valores acima da média) cercadas por regiões que também apresentam valores acima da média para a variável em análise. Este quadrante é classificado como alto-alto (AA) (*high-high* - HH).

O segundo quadrante mostra as regiões com valores baixos cercados por vizinhos que apresentam valores altos. Este quadrante é geralmente classificado como baixo-alto (BA) (*low-high* – LH).

O terceiro quadrante é constituído pelas regiões com valores baixos para as variáveis em análise cercados por vizinhos que também apresentam baixos valores. Este quadrante é classificado como baixo-baixo (BB) (*low-low* – LL).

O quarto quadrante é formado pelas regiões com altos valores para as variáveis em análise cercados por regiões com baixos valores. Este quadrante é classificado como alto-baixo (AB) (*high-low* – HL). As regiões que estão localizadas nos quadrantes AA e BB apresentam autocorrelação espacial positiva, ou seja, estas regiões formam clusters de valores similares. Por outro lado, os quadrantes BA e AB apresentam autocorrelação espacial negativa, ou seja, estas regiões formam clusters com valores diferentes.

3.2.5. Regressão Linear

A análise de regressão permite modelar, examinar e explorar relacionamentos espaciais e pode ajudar a explicar os fatores por trás dos padrões espaciais observados. Por exemplo, para querer entender por que as pessoas estão morrendo persistentemente jovens em certas regiões do país ou quais fatores contribuem para taxas de diabetes mais elevadas do que o esperado. Ao modelar relações espaciais, no entanto, a análise de regressão também pode ser usada para predição. Modelar os fatores que contribuem para as taxas de graduação da faculdade, por exemplo, permite que você faça previsões sobre as próximas habilidades e recursos da força de trabalho.

Modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável Y com outra X . Quando a função f que relaciona duas variáveis é do tipo $f(X) = a + bX$ temos o modelo de regressão simples. A variável X é a variável independente da equação enquanto $Y = f(X)$ é a variável dependente das variações de X . O modelo de regressão é chamado de simples quando envolve uma relação causal entre duas variáveis. O modelo de regressão é multivariado quando envolve uma relação causal com mais de duas variáveis. Isto é, quando o comportamento de Y é explicado por mais de uma variável independente $X_1, X_2, \dots, X_n$.

Estes modelos são bastante utilizados para estimar o comportamento futuro de algum fenômeno da realidade. Neste caso extrapolam-se para o futuro as relações de causa-efeito – já observadas no passado – entre as variáveis, sendo permitido simular os efeitos sobre uma variável Y em decorrência de alterações introduzidas nos valores de uma variável X usando estes modelos.

A análise de regressão consiste de métodos gráficos e analíticos visando explicitar as relações entre as variáveis independentes e a dependente, permitindo estimar valores para a variável dependente e verificar quais variáveis influenciam mais no valor estimado (SILVA, 1997).

De acordo com Gonzalez (2000) o modelo convencional de Regressão Linear Múltipla segue o formato:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_k X_k + \varepsilon_\alpha = Y_h + \varepsilon_\alpha$$

Onde:

- a) Y - variável dependente ou explicada;
- b) $X_1, \dots, X_k$ - variáveis independentes, explicativas ou co-variáveis;
- c) α_0 - parâmetro estimado para a constante da equação;
- d) $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ - parâmetros estimados para os coeficientes de regressão;
- e) ε_α - termo de erro (desvio da estimativa);
- f) Y_h - estimativa para a variável dependente, calculada em função das variáveis independentes.

Alguns parâmetros estatísticos importantes que serão utilizados no capítulo 4 em relação ao resultado de uma Regressão Linear são:

Valores P: a maioria dos métodos de regressão realizam um teste estatístico para calcular uma probabilidade, denominada *p-value*, para os coeficientes associados a cada variável independente. A hipótese nula para este teste estatístico afirma que um coeficiente não é significativamente diferente de zero. Os pequenos valores de p refletem pequenas probabilidades e sugerem que o coeficiente é, de fato, importante para seu modelo com um valor significativamente diferente de zero. Pode-se concluir, por exemplo, que um coeficiente com um valor de p de 0,01 é estatisticamente significativo ao nível de confiança de 99%; A variável associada é um preditor efetivo. As variáveis com coeficientes próximos de zero não ajudam a prever ou modelar a variável dependente, essas são quase sempre removidos da equação de regressão, a menos que haja fortes razões teóricas para mantê-los.

R2 / R-squared: R-quadrado e R-quadrado múltiplo são ambas estatísticas derivadas da equação de regressão para quantificar a performance do modelo. O valor de R-quadrado varia de 0 a 100 por cento. Se o modelo se adequa perfeitamente aos valores de variáveis dependentes observados, R-squared é 1,0 e indica certamente algum erro como a utilização do próprio Y para prever Y . É mais comum valores de R-quadrado como 0,49, por exemplo, que você pode interpretar dizendo: "Este modelo explica 49% da variação na variável dependente". Para entender o que o valor R-quadrado está recebendo, deve-se criar um gráfico de barras que mostre os valores y

estimados e observados ordenados pelos valores estimados. Observe quanto de sobreposição existe. O gráfico gerado fornece uma representação visual de quão bem os valores previstos do modelo explicam a variação nos valores variáveis dependentes observados.

Residuais: são a porção inexplicável da variável dependente, representada na equação de regressão como o termo de erro aleatório ε . Valores conhecidos para a variável dependente são usados para construir e calibrar o modelo de regressão. Usando valores conhecidos para a variável dependente (y) e valores conhecidos para todas as variáveis explicativas (os X s), a ferramenta de regressão constrói uma equação que irá prever os valores de y conhecidos, assim como possível. Os valores previstos raramente equivalem exatamente aos valores observados. A diferença entre os valores y observados e os valores- y previstos são chamados de resíduos. A magnitude dos resíduos de uma equação de regressão é uma medida do ajuste do modelo. Os grandes resíduos indicam um ajuste do modelo pobre.

Construir um modelo de regressão é um processo iterativo que envolve encontrar variáveis independentes efetivas para explicar a variável dependente em que se está tentando modelar ou entender, executando a ferramenta de regressão para determinar quais variáveis são preditores efetivos e, em seguida, remover repetidamente e / ou adicionar variáveis até encontrar o melhor modelo de regressão possível. Embora o processo de construção do modelo seja frequentemente exploratório, nunca deve ser uma pesquisa aleatória. Deve-se identificar as variáveis explicativas do candidato através da teoria da consultoria, dos especialistas no campo e do senso comum. É importante declarar e justificar a relação esperada entre cada variável explicativa do candidato e a variável dependente antes da análise, e deve-se questionar os modelos onde essas relações não correspondem.

Gonzalez (2000) ainda cita que o modelo de regressão múltipla deve seguir os pressupostos:

- a) Os resíduos são variáveis aleatórias com valor esperado nulo e variância constante;
- b) Os resíduos devem ser independentes, os quais seguem distribuição normal, não existindo autocorrelação;
- c) Não deve existir relação linear exata entre quaisquer variáveis independentes;

- d) As variáveis independentes devem ser reais e não podem ser aleatórias;
- e) O número de observações deve ser maior que o de coeficientes a ser estimado;
- f) Não existir observações atípicas aos modelos, denominadas *outliers*.

Segundo Gonzalez (2000) em geral ocorre quebra desses pressupostos, sendo comum a multicolinearidade, *outliers* e não-linearidade dos elementos, devido às particularidades e dificuldades encontradas no mercado imobiliário. A não-linearidade dos elementos origina funções diversas, sendo mais usual as funções exponencial, logarítmica, inversa, e a potência, as quais podem ser transformadas em funções lineares por anamorfose (UBERTI, 2000).

Dantas (1998) ressalta que na prática nem sempre se observa uma tendência linear, sendo necessário utilizar modelos linearizáveis, por facilitarem no cálculo das estimativas das médias e facilidade de interpretação, os quais podem ser linearizados pela simples transformação das escalas de medição das variáveis.

Para Gonzalez (2000) os modelos de regressão sofrem restrições por não conseguirem explicar as variações de preço no espaço, surgindo um tipo de autocorrelação denominado “autocorrelação espacial” que está relacionada às particularidades dos elementos da amostra e por terem maior relação com a vizinhança próxima do que com a distância. O autor cita que pesquisadores acreditam que com o desenvolvimento de pacotes estatísticos com ferramentas espaciais e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) as questões operacionais possam ser resolvidas.

3.2.5.1. Método dos Mínimos Quadrados (OLS)

O Método dos Mínimos Quadrados, ou Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou OLS (do inglês Ordinary Least Squares) é uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (tais diferenças são chamadas resíduos). É a forma de estimação mais amplamente utilizada na econometria.

Consiste em um estimador que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos da regressão, de forma a maximizar o grau de ajuste do modelo aos dados observados. Um requisito para o método dos mínimos quadrados é que o fator

imprevisível (erro) seja distribuído aleatoriamente, essa distribuição seja normal e independente.

O Teorema Gauss-Markov garante (embora indiretamente) que o estimador de mínimos quadrados é o estimador não-enviesado de mínima variância linear na variável resposta. Outro requisito é que o modelo é linear nos parâmetros, ou seja, as variáveis apresentam uma relação linear entre si. Caso contrário, deveria ser usado um modelo de regressão não-linear. Credita-se Carl Friedrich Gauss como o desenvolvedor das bases fundamentais do método dos mínimos quadrados, em 1795, quando Gauss tinha apenas dezoito anos. Entretanto, Adrien-Marie Legendre foi o primeiro a publicar o método em 1805, em seu *“Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes”*. Gauss publicou suas conclusões apenas em 1809.

Para estimar os parâmetros do modelo é necessário um método de estimação. O método estatístico utilizado e recomendado pela sua precisão, é o método dos mínimos quadrados que ajusta a melhor “equação” possível aos dados observados. Com base nos n pares de observações (y_1, x_1) , (y_2, x_2) , ..., (y_n, x_n) , o método de estimação por MQO consiste em escolher a e b de modo que a soma dos quadrados dos erros, ε_i ($i=1, \dots, n$), seja mínima. Para minimizar esta soma, que é expressa por:

$$SQ = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bX_i)^2$$

Deve-se, inicialmente, diferenciar a expressão com respeito a “ a ” e “ b ” e, em seguida, igualar a zero as expressões resultantes. Feito isso, e após algumas operações algébricas, os estimadores resultantes são:

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{y} \bar{x}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

onde $\bar{y}$ é a média amostral dos y_i 's e $\bar{x}$ a média amostral dos x_i 's. Logo, $E(Y | x) = a + bx$ é o modelo de regressão linear simples ajustado, em que $E(Y|x)$, denotado também $\hat{Y}$ por simplicidade, é o valor médio predito de Y para qualquer valor $X = x$ que esteja na variação observada de X .

3.2.5.2. Regressão Geograficamente Ponderada (RGP ou *GRW* em inglês)

A regressão linear geograficamente ponderada (RGP) foi inicialmente proposta por Brunsdon *et al* (1996) como um método para explorar a não estacionariedade espacial, sendo esta última uma condição na qual um modelo de regressão espacial global não pode, conforme destacado acima, explicar adequadamente as relações entre alguns conjuntos de variáveis definidas numa região geográfica. Deste modo, uma solução mais adequada seria modificar a natureza do modelo para refletir, ao longo do espaço, a estrutura intrínseca aos dados.

A ideia básica da RGP é ajustar um modelo de regressão para cada ponto no conjunto de dados, ponderando as observações por uma função de distância a este ponto. Isto corresponde a considerar que pontos mais próximos ao ponto em estudo tenham maior influência nos parâmetros estimados da regressão do que observações obtidas em pontos mais distantes.

Sabendo da eficiência da variável espacial nas regressões Câmara et al. (2005) nos mostra que:

“A idéia é ajustar um modelo de regressão a cada ponto observado, ponderando todas as demais observações como função da distância a este ponto. Serão feitos tantos ajustes quantas observações existirem e o resultado será um coeficiente de ajuste para cada localização. Estes coeficientes podem ser apresentados visualmente para mostrar como se comportam espacialmente os relacionamentos entre as variáveis. Esta técnica é denominada regressão ponderada espacialmente e permite, através da inferência dos coeficientes de regressão locais, estimar as variações espaciais das medidas territorializadas”. Câmara et al. (2005)

Estes mesmos autores ressaltam que a grande maioria dos problemas de gestão pública no Brasil depende da distribuição espacial do fenômeno subjacente, dentre estes se enquadra o desmatamento na região amazônica. É de fundamental

importância conhecermos para cada região quais os fatores que influenciam na conversão da floresta amazônica em diferentes usos e tipos de ocupação.

Como resultado, obtêm-se portanto um conjunto de parâmetros ajustados para cada ponto na região geográfica analisada. A proposta inicial tinha como objetivo fornecer uma ferramenta útil de análise exploratória através da identificação das variações entre variáveis ao longo do espaço, o que corresponde à não estacionaridade espacial; entretanto, por auxiliar na explicação e previsão de fenômenos geográficos, este tipo de modelo pode ser classificado como confirmatório, desde que, conforme discutido no trabalho de Loureiro *et al.* (2006), seja avaliada com o devido cuidado sua premissa básica de influência do comportamento de uma determinada unidade geográfica sobre as suas vizinhas, e vice-versa.

Os modelos de regressão espacial podem variar de acordo como o interesse de estudo, e podem ser aplicados com efeito espacial global e efeito espacial local. Nesse estudo foi utilizado o efeito local, visto que, quando o processo espacial é não-estacionário, os coeficientes de regressão precisam refletir a heterogeneidade espacial, isto pode ser ilustrado por:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

- a) Variável Dependente (y): é o fenômeno, o objeto, e o que você está querendo relacionar / modelar / prever;
- b) Variáveis explicativas (x): São as variáveis que influenciam diretamente, ou que hipoteticamente ajudam a explicar a variável dependente;
- c) Coeficientes (β): São os valores, calculados pela ferramenta de regressão, que indicam a relação e o peso de cada variável explicativa para a variável dependente;
- d) Resíduos: (ε): a parte da variável dependente que não é explicada pelo modelo.

Segundo Simon Blainey (2009) parece óbvio que alguma forma de análise espacial deve ser incorporada nos modelos de estudos para estações ferroviárias. Simon Blainey (2009) afirma ainda que o GWR é, sem dúvida, um método poderoso, porque pode representar uma variação espacial muito mais complexa do que o método de expansão e, se puder ser implementado com sucesso, deve dar uma indicação mais confiável do impacto local de diferentes fatores na demanda ferroviária. Contudo, é significativamente mais complicado do que a forma simples do método de expansão,

e como ele requer muito mais processamento, o uso de outros métodos deve ser investigado para determinar se os resultados do GWR são suficientemente superiores para justificar o tempo extra necessário.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA CIDADE DE BELO HORIZONTE

A área de estudo considerada na realização do trabalho foi o município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, localizado entre as coordenadas 598.000 e 620.000 eixo E, e 7.781.000 e 7.813.000 eixo N, sistema de coordenadas UTM, Datum SAD 69 fuso 23S, com área de 330,95 km², tem divisas ao sul, com Nova Lima e Brumadinho, a leste com Sabará e Santa Luzia, a norte com Santa Luzia e Vespasiano, a oeste com Ribeirão das Neves, Contagem e Ibirité.

De acordo com a mais recente estimativa realizada pelo IBGE em 2016, sua população era de 2.513.451 habitantes, sendo o mais populoso município de Minas Gerais, o terceiro da Região Sudeste, depois de São Paulo e Rio de Janeiro, e o sexto mais populoso do Brasil. A capital mineira é também sede da terceira concentração urbana mais populosa do país. Belo Horizonte já foi indicada pelo *Population Crisis Committee*, da ONU, como a metrópole com melhor qualidade de vida na América Latina e a 45ª entre as 100 melhores cidades do mundo. Em 2010, Belo Horizonte gerou 1,4% do PIB do país, e em 2013 era o quarto maior PIB entre os municípios brasileiros, responsável por 1,53% do total das riquezas produzidas no país.

O município de Belo Horizonte está dividido em nove regionais administrativas. A figura 12 apresenta dados relativos à área e densidade populacional de cada uma das nove regionais, segundo dados do IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Características Socioeconômicas – População – Belo Horizonte, 2010			
Região Administrativa	População	Área Km ²	Densidade Demográfica
VENDA NOVA	265179	29,1103	9109,4
NOROESTE	268038	29,9359	8953,7
OESTE	308549	35,1570	8776,3
CENTRO-SUL	283776	32,6224	8698,8
LESTE	238539	28,1507	8473,6
NORDESTE	290353	39,5199	7347,0
NORTE	212055	32,7808	6468,9
BARREIRO	282552	53,8987	5242,3
PAMPULHA	226110	51,1929	4416,8
Total geral	2.375.151	332,369	7146,1

Figura 12 - Características Socioeconômicas de Belo Horizonte

Fonte: IBGE (2010)

A figura 13 apresenta localização do município de Belo Horizonte em relação ao estado de Minas Gerais e também as demais unidades da Federação.

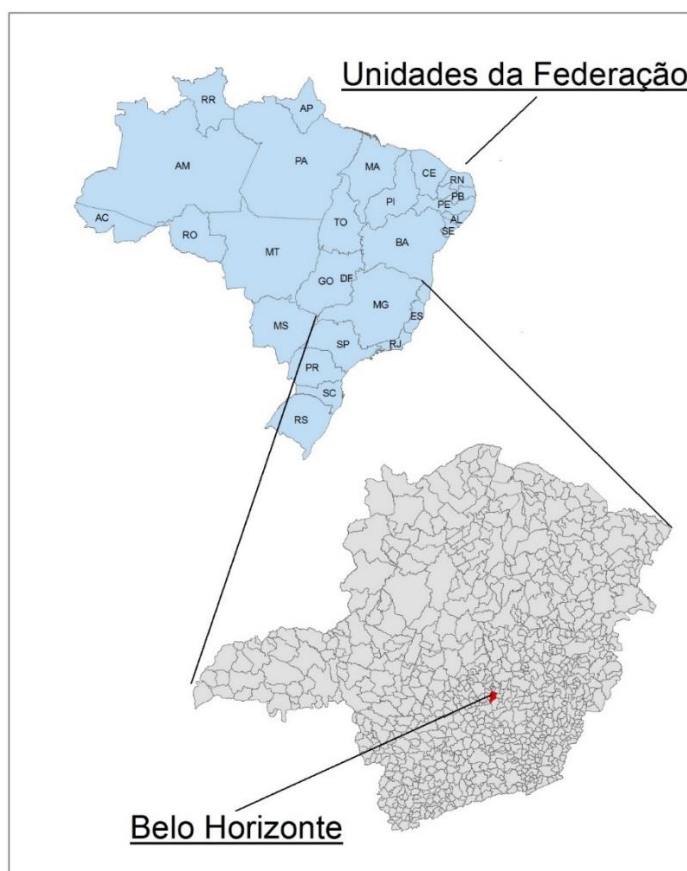


Figura 13 - Localização Territorial de BH em relação ao Estado e a União

Fonte: Elaboração própria

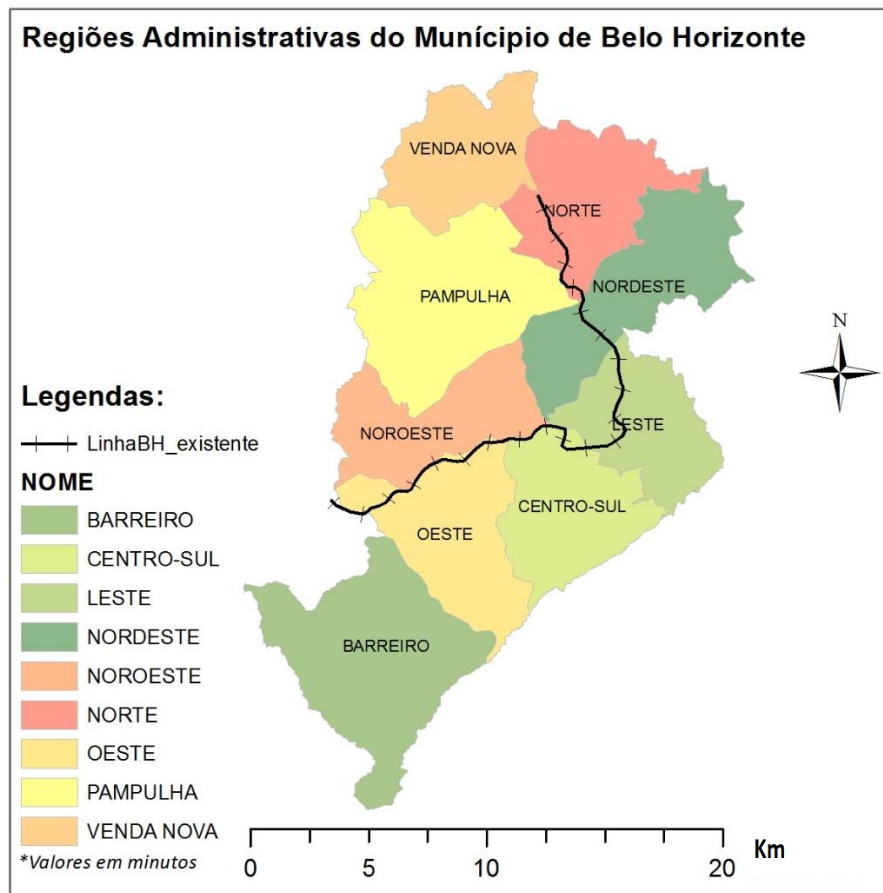


Figura 14 - Regiões Administrativas de Belo Horizonte

Fonte: Elaboração própria

A figura 14 apresenta as regiões administrativas do município de Belo Horizonte vigente a partir da Lei 10.231/2011. Como foi apresentado no capítulo “Objetivos”, o cenário escolhido foi a região administrativa Centro-Sul do município de Belo Horizonte, uma região já consolidada em todos os aspectos urbanos e com fortes indicadores que caracterizam o potencial para instalação de estações ferroviárias nesse local.

Deve-se ressaltar ainda que o presente estudo analisa regiões já consolidadas urbanisticamente, não sendo esse um pré-requisito indispensável para inserção de uma estação ferroviária. O estudo de um local para inserção de uma estação ferroviária pode por exemplo visar o desenvolvimento urbano de uma região ainda com baixa densidade de comércio, serviços, moradia e populacional no entorno.

A seguir serão apresentados uma sequência de mapas informativos produzidos pela prefeitura de Belo Horizonte disponíveis em seu portal na internet que justificam a escolha pela região administrativa centro-sul como objeto da área de estudo.

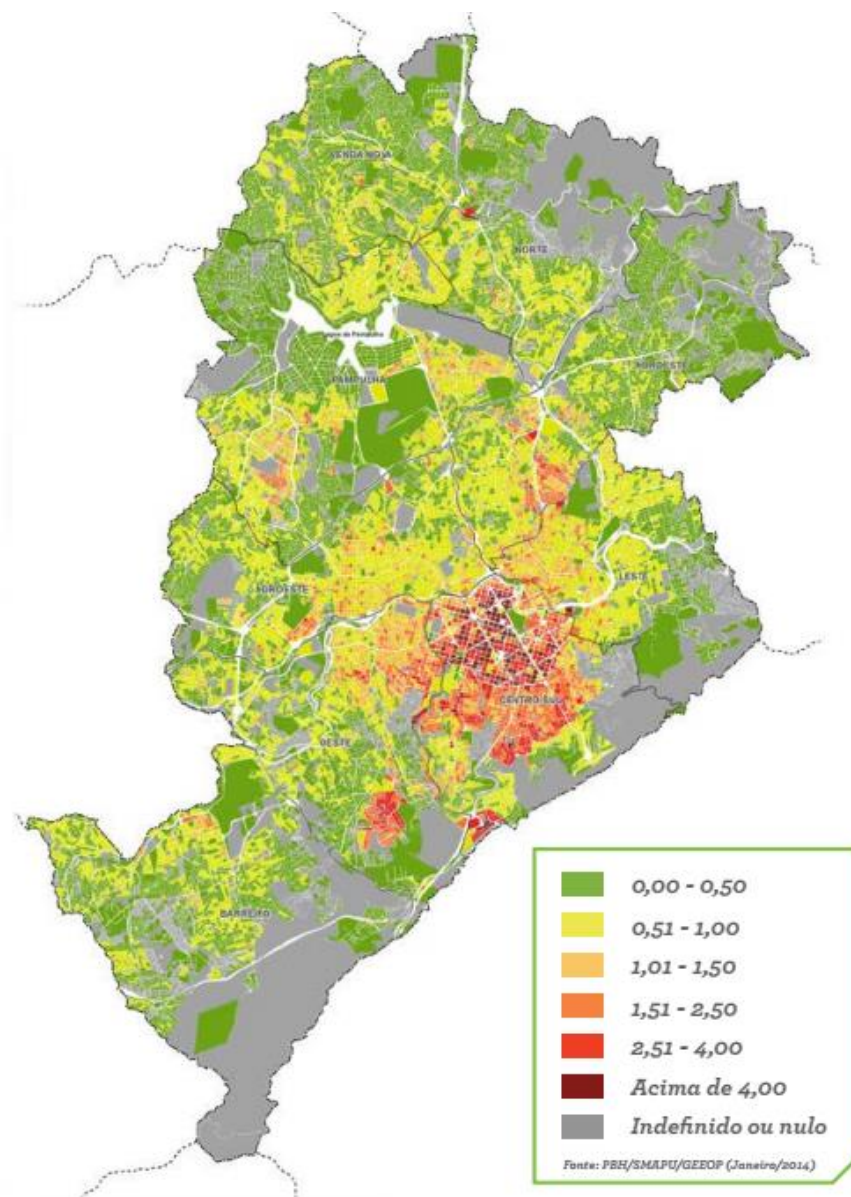


Figura 15 - Densidade construtiva de Belo Horizonte

Fonte: PBH (2014)

A figura 15 acima apresenta a densidade construtiva do município de Belo Horizonte, nota-se que a parcela com maior densidade está contida na região centro-sul.

O Relatório Completo da Pesquisa de Origem e Destino de 2011/2012 da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) publicado pelo Governo do Estado de Minas Gerais, comprova também através de análises espaciais a escolha da região administrativa centro-sul do município para estudo e aplicação da metodologia de regressão geograficamente ponderada para locação de estações ferroviárias nessa região. As figuras 16, 17 e 18 ilustram essa importância da região centro-sul e sua escolha como Área de Estudo.

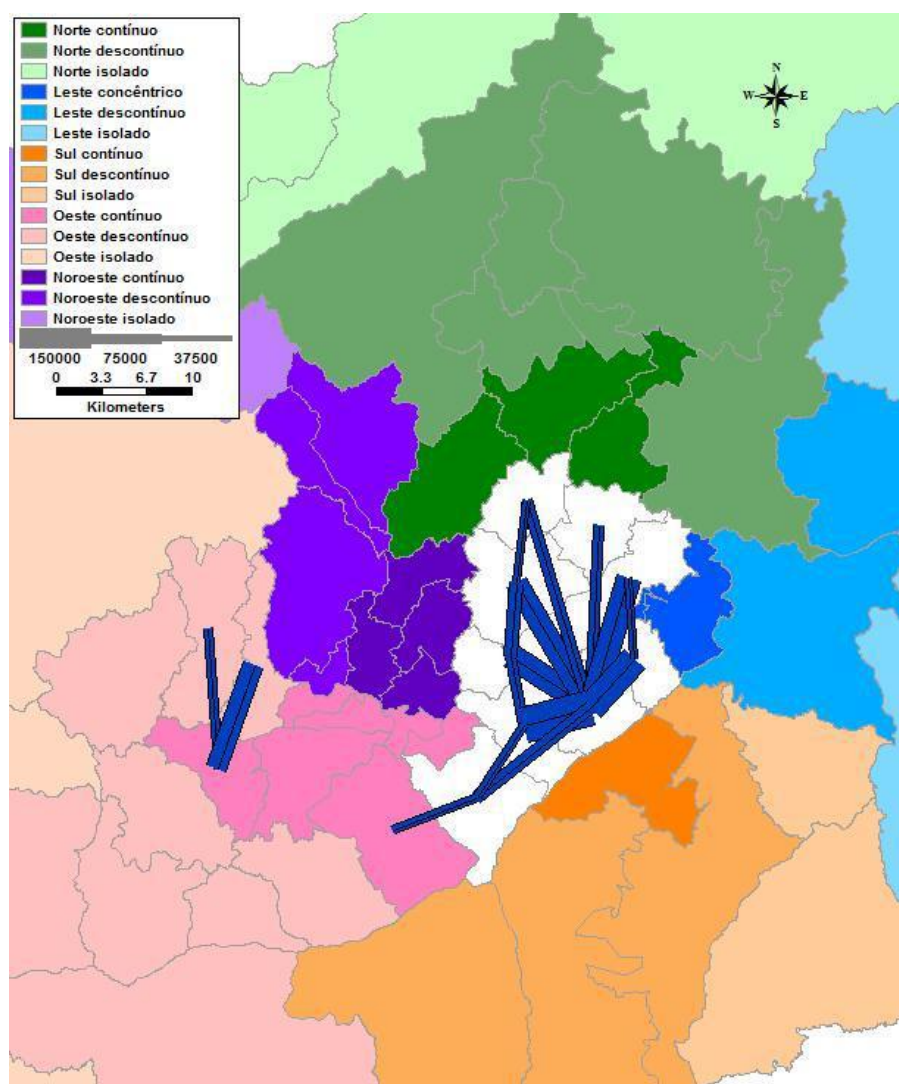


Figura 16 - Principais Linhas de Desejo da RMBH (acima de 120 mil viagens)

Fonte: Relatório OD da RMBH (2012)

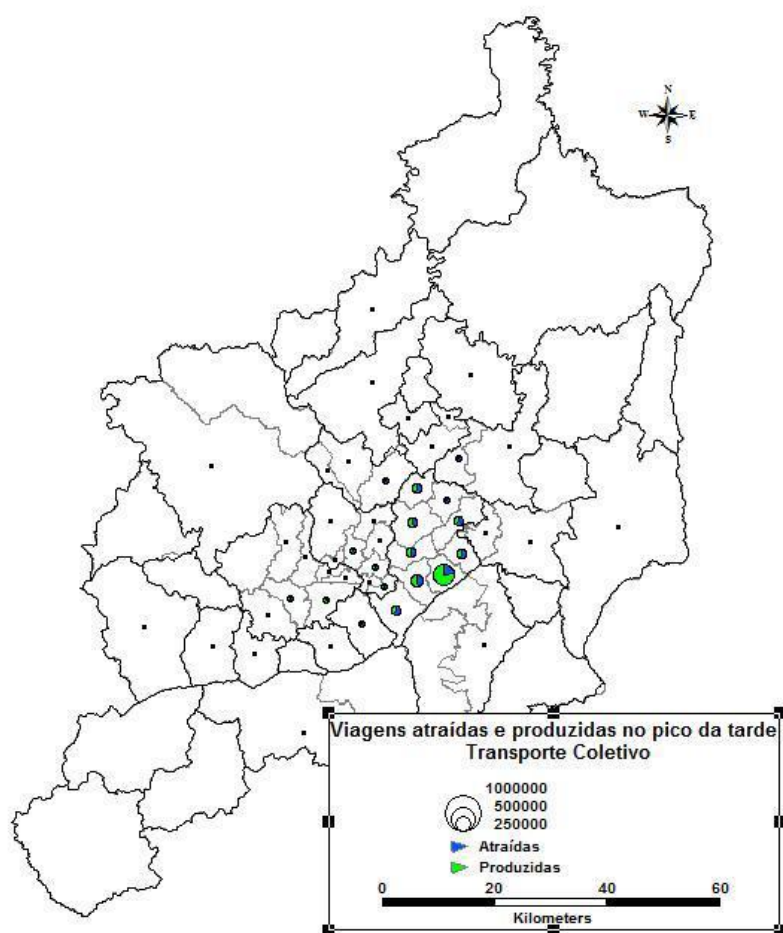


Figura 17 - Viagens atraídas e produzidas no pico da tarde por Transporte Coletivo

Fonte: Relatório OD da RMBH (2012)

Na figura 17 a circunferência de maior diâmetro, que representa maior quantidade de viagens atraídas e produzidas no pico da tarde, na região centro-sul demonstra novamente tal região como de maior importância para estudos de mobilidade urbana. Mapas como apresentados nas figuras 16 e 17 comprovam a necessidade de implantação de sistemas de transporte estruturadores na região centro-sul de Belo Horizonte, como o sistema sobre trilhos.

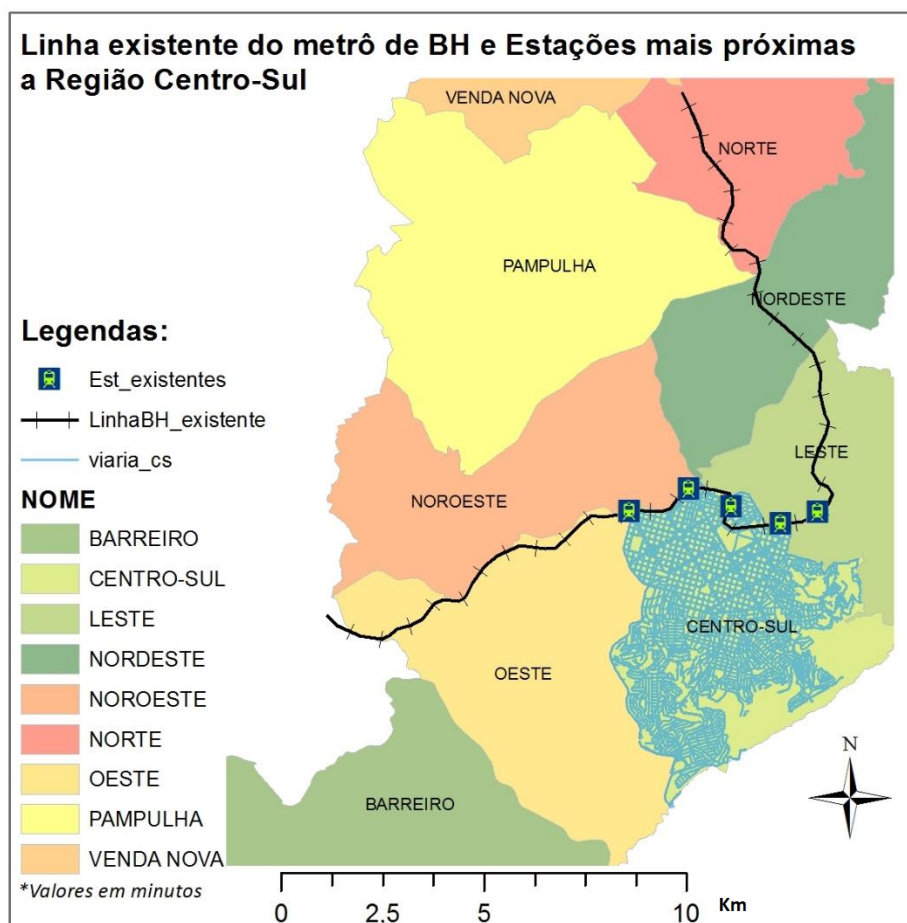


Figura 18 - Mapa da linha existente de metrô de BH

Fonte: Elaboração Própria

A figura 18 ilustra a locação da linha de metrô existente em Belo Horizonte em relação as regiões administrativas.

Pode-se concluir após a visualização dos mapas acima em sequência que o transporte de passageiros sob trilhos existente no município não abrange a principal linha de desejo de geração e atração de viagens da RMBH segundo Relatório Final de Pesquisa de Origem e Destino.

4.2. INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

As informações geográficas foram obtidas a partir de instituições públicas que disponibilizam os dados coletados através de seus respectivos portais na internet. Alguns dados específicos do município de Belo Horizonte foram obtidos através de solicitações junto a Gerência de Geoinformação – GIGS PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S/A. A PRODABEL reuniu e enviou os dados elaborados pela Secretaria Municipal de Finanças da Prefeitura de Belo Horizonte. Segue ainda os demais fornecedores de dados geográficos que contribuíram para este trabalho: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Prefeitura de Belo Horizonte, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais (IEDE).

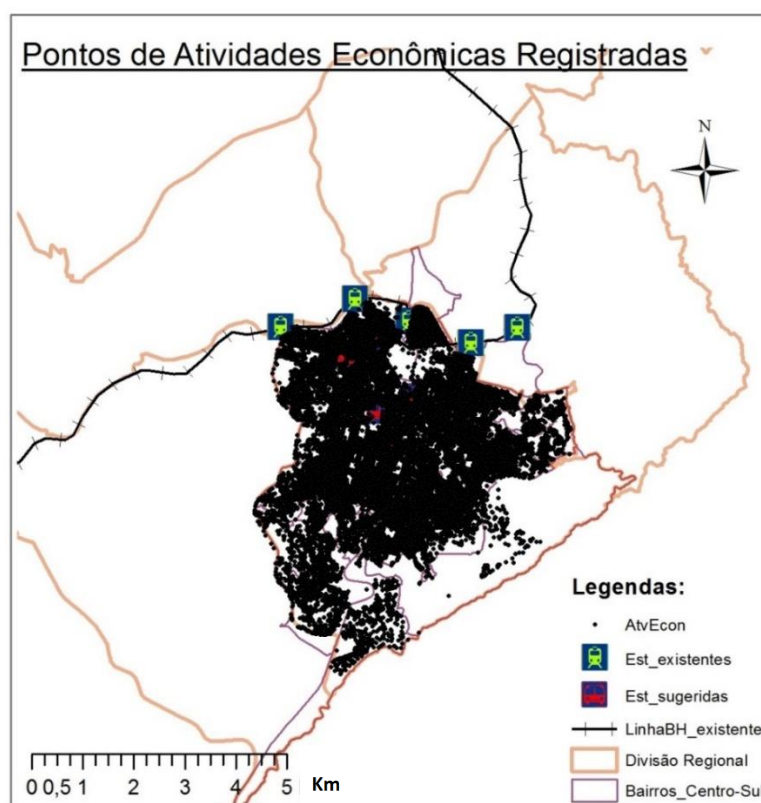


Figura 19 - Mapa de todas as atividades econômicas registradas

Fonte: Elaboração Própria

A figura 19 representa um conjunto de dados importante para o desenvolvimento da metodologia de análise de potencial. Refere-se a todas as atividades econômicas registradas de acordo com o código CNAE contidos na tabela de atributos. Nota-se que a simples espacialização sem o auxílio de ferramentas de

análise espacial como a Densidade Kernel, não proporciona conclusões relevantes já, além de ser notável que a maior parte da região centro-sul é coberta por atividades econômicas de diversos grupos.

O conhecimento adquirido da região de estudo possibilitou a utilização da ferramenta SIG *Google Earth* para identificar locais importantes para a aplicação da metodologia GWR.

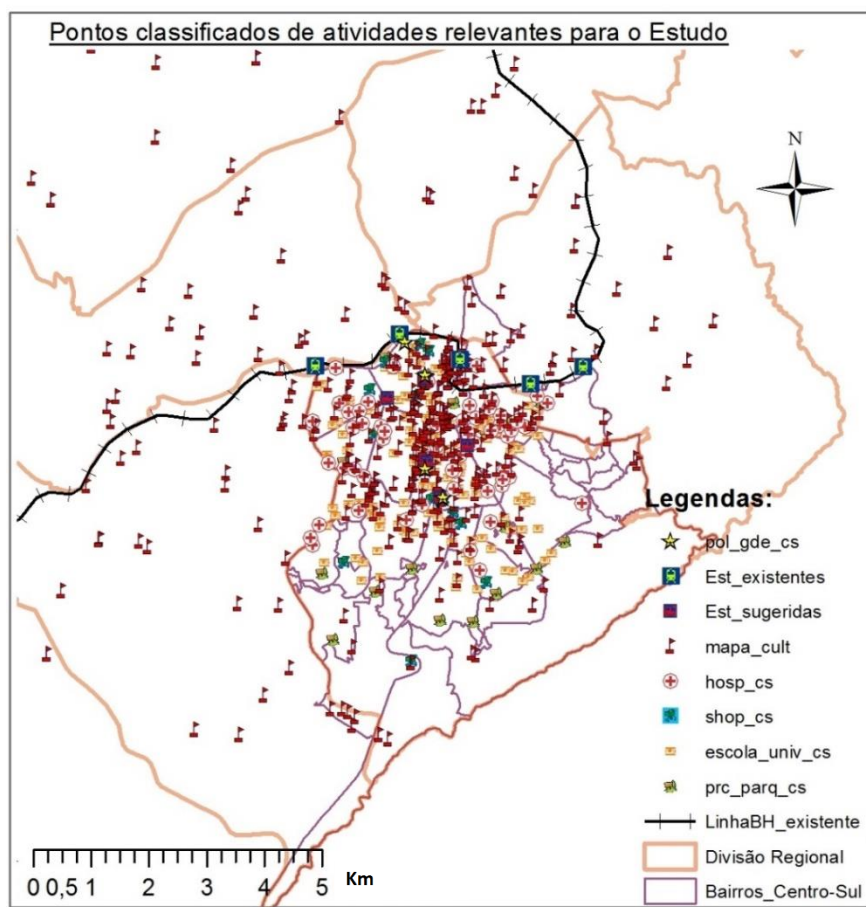


Figura 20 - Atividades relevantes para o estudo

Fonte: Elaboração Própria

A figura 20 representa um mapa resultado de um tipo de filtro do mapa da figura 19 representando atividades de econômicas de grupos estratégicos e relevantes para análise de potencial local.

A seguir no próximo capítulo serão apresentados os dados coletados referente a região centro-sul, de acordo com os critérios definidos no tópico 2.3.1, e em seguida a aplicação do método GWR para o estudo de caso.

5. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1. TRATAMENTO DE DADOS

Para que possa ser feita aplicação adequada do GWR, deve ser feita uma sequência de procedimentos para sua calibração. As etapas de calibração serão apresentadas de forma metodológica a seguir de forma adaptada ao que foi apresentado por Carlos Loureiro et al (2015).

Os principais itens de calibração foram apresentados no tópico 2.2, Referencial Metodológico, e seus respectivos tópicos. A descrição detalhada das etapas desta metodologia é apresentada a seguir na figura 21:

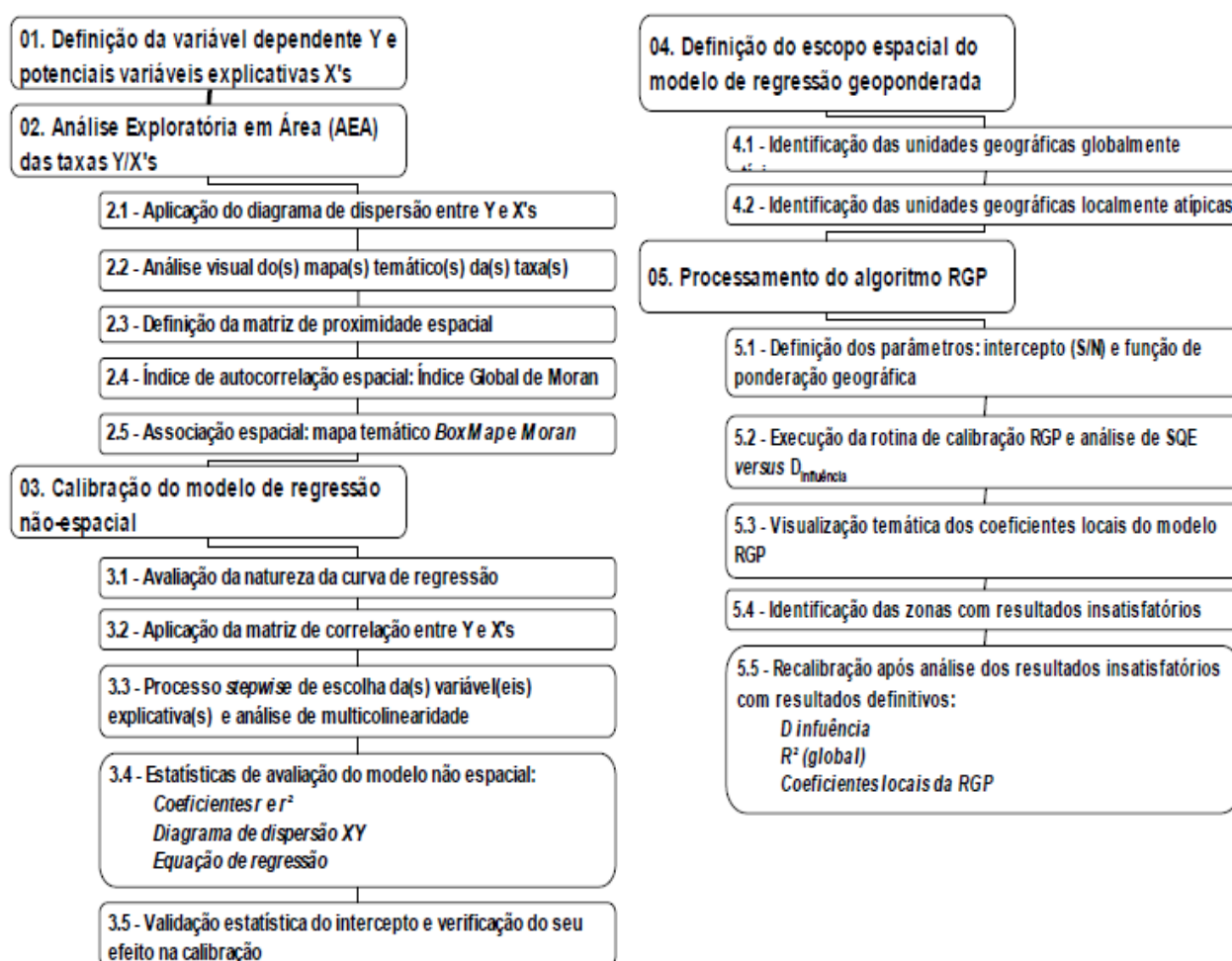


Figura 21 - Metodologia para o RGP

Fonte: Carlos Loureiro (2015)

a) Definição da variável dependente Y e potenciais variáveis explicativas X's:

Inicialmente, deve-se definir de forma clara a variável dependente Y que irá representar o fenômeno em análise, bem como especificar um grupo de variáveis potencialmente capazes de explicar o comportamento da variável dependente. Neste grupo de candidatas a variáveis explicativas é importante estar atento para evitar a inclusão de variáveis X's estatisticamente correlacionadas com Y, mas que não possuem associação fenomenológica com a variável dependente. Dessa forma, pretende-se trabalhar com variáveis explicativas que, além de possuírem elevada correlação com o comportamento da variável Y, apresentem também uma relação de causalidade com o fenômeno a ser explicado.

b) Análise Exploratória em Área (AEA) das taxas Y/X's

O objetivo desta etapa é possibilitar ao analista avaliar qualitativamente a necessidade da consideração do atributo espacial na explicação do fenômeno estudado. Neste estágio, considera-se a hipótese de que, em fenômenos eminentemente geográficos, os modelos confirmatórios espaciais traduzem melhor o padrão de comportamento destes fenômenos, ou seja, ajustes de modelos não-espaciais e globais (como é o caso da regressão tradicional) não expressarão bem as relações de interdependência esperadas. A verificação desta hipótese deve ser feita inicialmente a partir dos diagramas de dispersão de Y versus cada X, buscando identificar o tipo de relação de dependência não-espacial entre cada par de variáveis. Caso não se constatem nos diagramas de dispersão fortes relações de dependência, lineares ou não, entre variáveis que se supõe apresentarem relações inerentes de causalidade, deve-se investigar a contribuição que o caráter espacial destas variáveis pode trazer à compreensão do fenômeno em análise.

c) Calibração do modelo de regressão não-espacial

Esta etapa deve ser entendida como uma fase de investigação e entendimento do processo de calibração de modelos de regressão, servindo de suporte para o posterior desenvolvimento do modelo espacial (RGP), uma vez que espera-se que este modelo proporcione um incremento no poder de explicação do modelo tradicional. Esta etapa foi feita pelo programa ARCGIS.

d) Definição do escopo espacial do modelo de regressão geograficamente ponderada

Nesta fase, são identificadas as unidades geográficas (UG's) atípicas cujo comportamento deve ser compreendido e justificado separadamente sob o ponto de vista diretamente associado ao fenômeno em análise (p.ex., uso do solo ou socioeconomia). Esta atipicidade poderá ser de uma intensidade tal que resultará na exclusão destas UG's do escopo espacial do modelo RGP. Caso não sejam excluídas, a ponderação geográfica proposta pela RGP poderá resultar em coeficientes da curva de regressão destoantes da realidade nestas UG's, uma vez que a hipótese de interação unidade geográfica – vizinhança, verificada para a maioria das unidades geográficas, pode não ser válida para estas UG's atípicas.

e) Processamento do algoritmo RGP

Após a definição do escopo espacial de modelagem da regressão geograficamente ponderada, inicia-se o processamento do algoritmo RGP. Este algoritmo foi implementado por meio do programa SIG ARCGIS, com a ferramenta do ArcToolbox cujo o nome é GWR.

5.2. ANÁLISES COM AS FERRAMENTAS SIG

5.2.1. Definição da Variável Dependente

Assim como foi definido anteriormente em que a variável dependente é o fenômeno, o objeto ou o que você está querendo relacionar / modelar / **prever**, foi sugerido e escolhido como **pontos de máximo potencial**, através de conhecimento prévio da região, visitas técnicas, utilização dos sistemas de transporte na região e estudos existentes publicados pela prefeitura municipal de Belo Horizonte, **5 locais** para que o modelo de análise espacial (RGP) possa dizer o quão adequado as variáveis explanatórias conseguem explicar a variação de potencial nos locais definidos pela variável dependente, portanto sendo capaz de prever a potencialidade desses pontos em receber estações ferroviárias. A Regressão Geograficamente Ponderada (RGP) retornará resultados estatísticos capazes de concluir se os pontos considerados previamente focos de potencial de implantação de estações ferroviárias conseguem ser explicados geograficamente pelas variáveis explanatórias ou não.

A variável dependente no programa ArcGIS recebeu o nome de “SET2”, o potencial de cada setor censitário da região centro-sul em receber uma estação ferroviária recebeu o valor máximo de 100 nos setores que possuíam centro geométrico em cada uma das 5 estações sugeridas. Para que pudesse ser feito um decrescimento adequado desse valor de potencial à medida que os setores censitários se afastassem dos 5 pontos sugeridos optou-se por criar zonas de potencial que partissem do centroide de cada uma das cinco estações sugeridas. Estas zonas foram numericamente classificadas, sendo as zonas mais próximas dos centroides de cada estação a de maior valor de potencial (SET2 = 100) e consequentemente as zonas que se afastam das estações decresciam seu valor de potencial (SET2) da ordem de 0,5. Como será apresentado a seguir na figura 28 as referidas zonas formaram anéis.

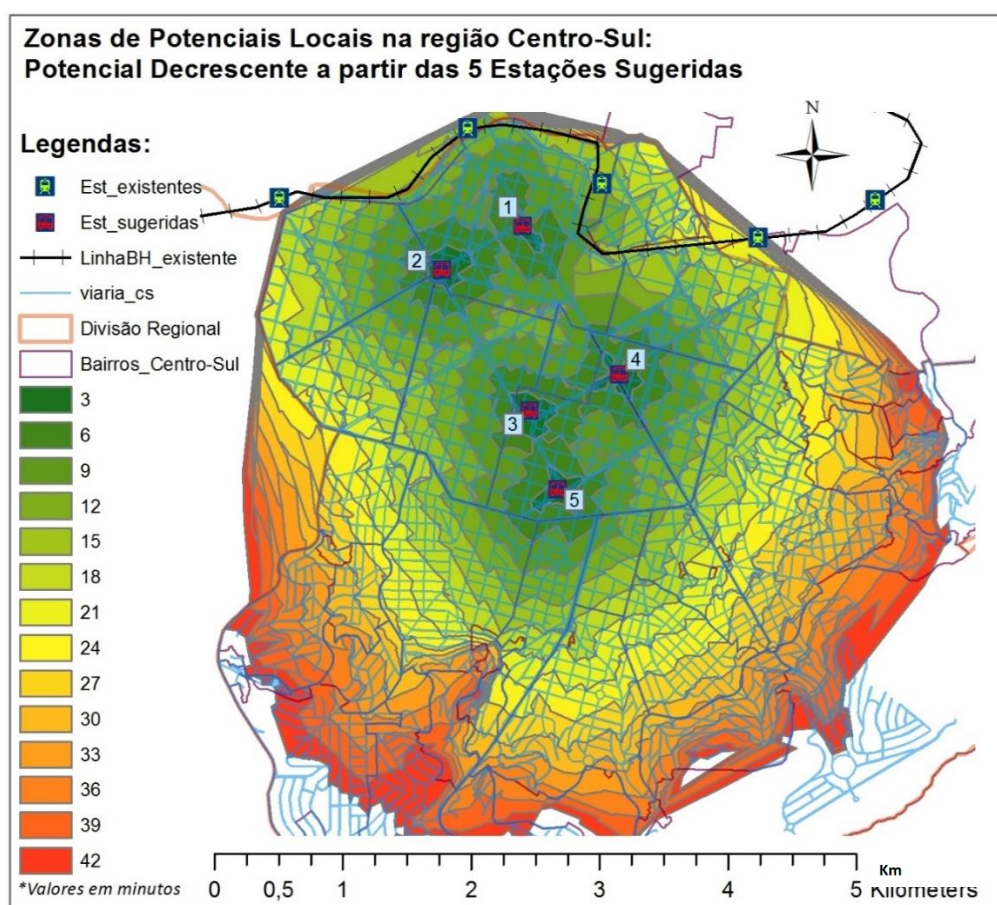


Figura 22 - Zonas geradas pelo decréscimo de potencial a partir das estações sugeridas

Fonte: Elaboração própria

Os anéis citados (zonas geradas) foram criados a partir do conjunto de ferramentas do *Network Analyst* do ArcGIS cujo o nome é *Service Area*. Esta ferramenta tem como base de dados a rede viária da região centro-sul de Belo Horizonte e ao executá-la com os devidos parâmetros ela percorre caminhos por toda essa malha viária a partir de um ponto escolhido, nos casos as 5 estações em potencial.

O parâmetro definido para esse percurso foi de velocidade de traslado que simula uma caminhada normal de uma pessoa. O ITDP (Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento) considera razoável a distância de 1 km, percorrida entre 10 a 15 minutos de caminhada, para que os usuários tenham acesso ao transporte de média e alta capacidade (BRT, metrô, trens e VLT), capaz de atrair e manter usuários do transporte de média e alta capacidade e reduzindo a dependência do automóvel.

Aplicando os dados informados à fórmula de velocidade média tem-se uma velocidade de 4,8 Km/h~5Km/h. A partir de então os anéis foram definidos para caminhadas de durações entre 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39 e 42 minutos.

Os resultados definidos pelas zonas de potencial gerados pelo *Service Area* foram transferidos para os respectivos setores censitários que os interceptam. **A aplicação da Regressão Geograficamente Ponderada é feita através dos dados inseridos na tabela de atributos de cada setor censitário**, ou seja, tanto a variável dependente como as variáveis explanatórias devem estar contidas em cada setor censitário da região centro-sul para que a análise RGP ocorra.

5.2.2. Descrição geográfica dos 5 focos de potencial

Os cinco pontos escolhidos estão inscritos na Av Do Contorno. A Avenida do Contorno é a avenida que circunda a região central de Belo Horizonte. Seu desenho segue o traçado planejado previamente à construção da cidade. Originalmente, o projeto previa a urbanização apenas da área limitada pela avenida, mas o intenso desenvolvimento no século XX fez com que a cidade ultrapassasse os limites muito antes do esperado.

Apesar do crescimento da malha urbana se estender muito além da Av Do Contorno, essa região se consolidou ao longo do tempo como polo de atividades de comércio e serviços. Em consequência do desenvolvimento precoce em relação as demais áreas do município, essa região possui os três primeiros lugares de bairros com maior valor de metro quadrado da cidade de acordo com a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Mais informações sobre os cinco pontos escolhidos serão apresentados a seguir:

Ponto 01: Localização da Praça Sete, a praça mais movimentada da cidade de Belo Horizonte, marco zero do seu hipercentro. Está localizada no cruzamento de duas grandes avenidas, a Afonso Pena e a Amazonas, e é entrecortada pelas ruas Rio de Janeiro e Carijós. Em termos de tráfego de veículos, compete em importância com a Praça Raul Soares e a Praça da Liberdade, na prática, as três mais importantes da cidade. O fluxo de pessoas que passam pela Praça Sete é, no entanto, consideravelmente maior. A figura 22 ilustra a grandeza da Praça Sete e as importantes avenidas que a cruzam.



Figura 23 - Praça Sete

Fonte: PBH (2017)

Ponto 02: Localização da Praça Raul Soares, uma das principais praças de Belo Horizonte. Construída em estilo francês, está situada na confluência de quatro importantes avenidas: Olegário Maciel, Augusto de Lima, Amazonas e Bias Fortes. A figura 23 ilustra a Praça Raul Soares e como ela está inserida no perímetro urbano.



Figura 24 - Praça Raul Soares

Fonte: FTV Digital (2006)

Ponto 03: Localização do complexo paisagístico e arquitetônico da Praça da Liberdade que é uma síntese dos estilos que marcam a história de Belo Horizonte, e fica na região da Savassi, no encontro de quatro grandes avenidas: Cristóvão Colombo, João Pinheiro, Brasil, Bias Fortes.

A construção da praça foi iniciada na época da fundação da nova capital mineira (1895-1897). Situada no ponto mais alto da área inicial da cidade (circunscrita à Avenida do Contorno) a praça foi feita para abrigar a sede do poder mineiro, os prédios do Palácio do Governo e das primeiras Secretarias de Estado obedecem a tendência da época - estilo eclético com elementos neoclássicos. Ao longo dos anos, o complexo foi recebendo construções de diferentes estilos arquitetônicos.

O Circuito Cultural Praça da Liberdade é o maior conjunto integrado de cultura do Brasil. O projeto foi desenvolvido pelo Governo de Minas, por meio da Secretaria de Cultura em parceria com empresas da iniciativa privada. Os antigos prédios públicos foram transformados em espaços interativos que buscam espelhar a diversidade: acervos históricos, artísticos e temáticos; centros culturais interativos; biblioteca e espaços para oficinas, cursos e ateliês abertos; além de planetário, cafeterias, restaurantes e lojas. A figura 24 ilustra uma parte da grandeza do complexo paisagístico e arquitetônico da Praça da Liberdade.



Figura 25 - Praça da Liberdade

Fonte: Caminhada.org (2015)

Ponto 04: Localização da Praça Tiradentes que é um logradouro na cidade de Belo Horizonte. Situa-se na confluência entre as avenidas Afonso Pena e Brasil, no bairro Funcionários. Há ali uma estátua em homenagem ao mártir da Inconfidência Mineira, Joaquim José da Silva Xavier, o "Tiradentes". No local já está prevista a instalação de uma estação da linha 3 do Metrô de Belo Horizonte de acordo com edital divulgado pela Empresa Pública Trem Metropolitano de Belo Horizonte S.A. (Metrominas). A figura 25 ilustra a densidade urbana da Praça Tiradentes e os nomes das importantes avenidas que a intercepta.

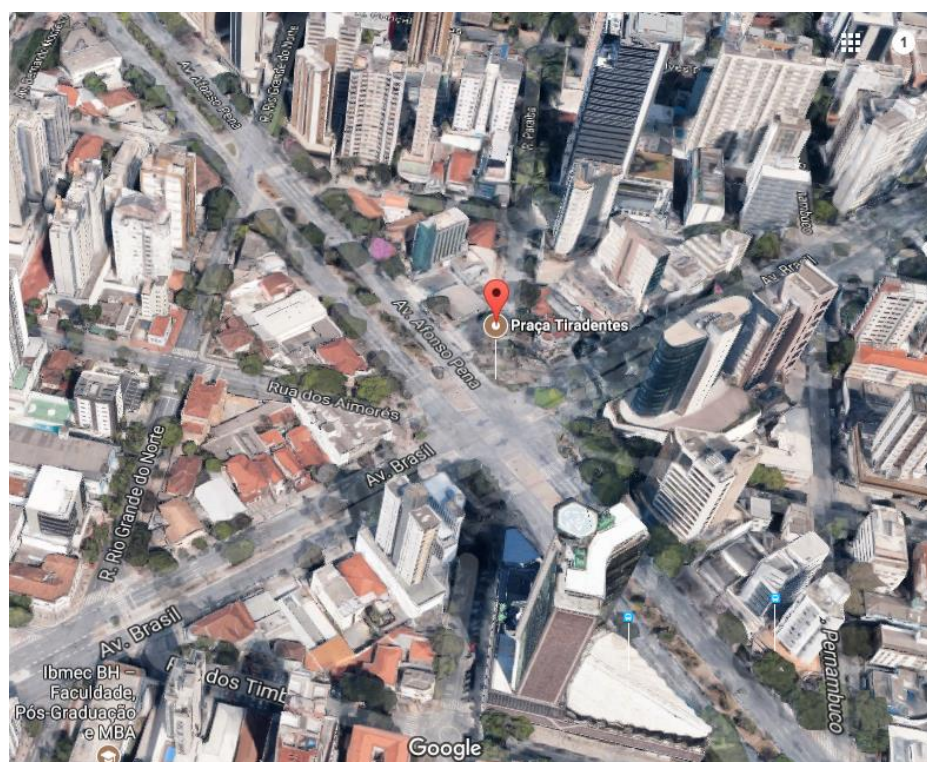


Figura 26 - Praça Tiradentes

Fonte: *GoogleMaps* (2017)

Ponto 05: Localização da Praça Diogo de Vasconcelos, popularmente chamada de Praça da Savassi que é um logradouro da cidade de Belo Horizonte. Localiza-se na confluência entre as avenidas Cristóvão Colombo e Getúlio Vargas. Confluem ali também as ruas Pernambuco e Antônio de Albuquerque.

Seu nome homenageia o político e historiador Diogo de Vasconcelos, que se destacou como pioneiro na defesa do patrimônio histórico e artístico, mineiro e nacional, e é considerado o primeiro historiador de arte no Brasil.

A praça é um movimentado ponto de encontro dos belorizontinos, visto que se localiza no centro do bairro da Savassi, importante região comercial da cidade. A vasta gama de frequentadores inclui desde famílias, que vão às compras ou aos cafés e restaurantes da região, até a juventude boêmia que frequenta os bares ou passa as noites de fim de semana nos bancos da praça. Com o passar do tempo, a Savassi se firmou como centro comercial sofisticado, transformando-se, mais tarde, em *point* da juventude e de grande concentração de bares, restaurantes e comércio. A figura 26 ilustra a beleza da Praça da Savassi após sua revitalização sendo reinaugurada em 2012.



Figura 27 - Praça da Savassi

Fonte: Jornal R7 (2014)

A seguir serão apresentados mapas gerados pelo ArcGIS que descrevem o modelo sugerido, iniciando pelas 5 estações propostas que representaram o campo de variável dependente. O objetivo como já foi detalhado anteriormente é que as variáveis explanatórias consigam indicar com a maior precisão possível os locais em potencial escolhidos já consolidados para receber estações. A seguir a figura 27 representa o posicionamento das 5 estações sugeridas na região centro-sul.

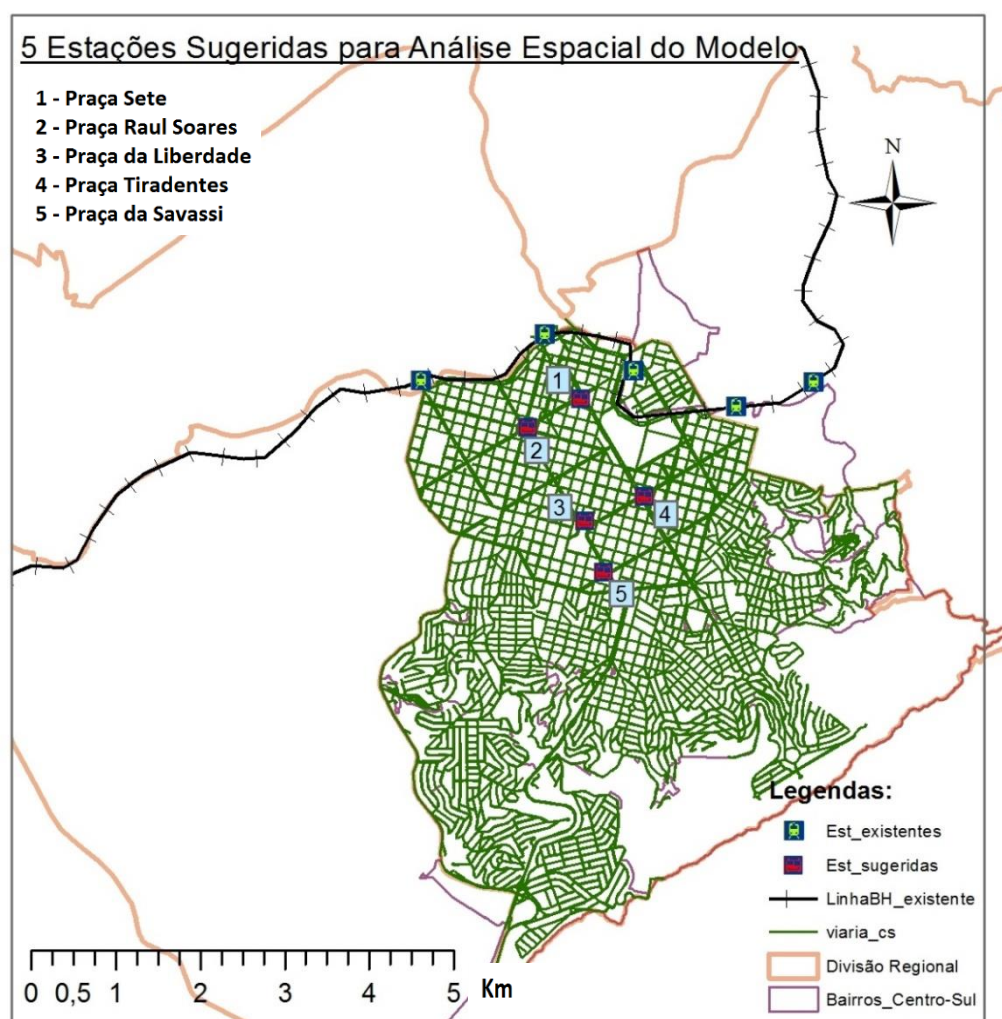


Figura 28 - 5 estações sugeridas para análise espacial

Fonte: Elaboração própria

Definido a variável dependente “SET2” em toda extensão da região centro-sul e seguindo o roteiro proposto no Tópico 4.1 deve-se definir em seguida as potenciais

variáveis explicativas. Essas foram definidas a partir da revisão bibliográfica, metodológica e estudos apresentados nos Capítulos 2 e 3, resumidos no tópico 3.1.1.

5.2.3. Descrição das variáveis explanatórias

As respectivas variáveis foram indicadas no programa ArcGIS para cada setor censitário da região centro-sul como:

1. **DDEM_KM2** = densidade demográfica;
2. **REND_10 A2** = renda mensal média de pessoas que recebem de 10 à 20 salários mínimos pelo número de pessoas do setor;
3. **DEN_DOMC** = densidade de domicílios;
4. **PQPR** = praças e parques relevantes;
5. **SHOOP** = shoppings e centros comerciais relevantes;
6. **HOSP** = hospitais e centro médicos relevantes;
7. **ESC** = escolas e universidades relevantes;
8. **GDEPOL** = grandes polos de viagens pela área do setor, como a região da rodoviária, praça sete, Praça de Liberdade e Praça da Savassi;
9. **MPCULT** = estabelecimentos relativos à atividades culturais na região pela área do setor como espaços culturais, museus, cinema, escolas culturais, etc;
10. **STPBUS** = paradas de ônibus;
11. **ATV_ECON** = todas as atividades econômicas registradas no município de Belo Horizontes como: drogarias, supermercados, escolas, bancos, salão, academias, etc.

5.2.4. Calibração por Kernel

A seguir foram analisados os mapas abaixo de Densidade Kernel, o que resultaram em uma conformidade visual com modelo sugerido de locação das estações ferroviárias. A Densidade Kernel calcula uma área de magnitude por unidade a partir de recursos de ponto ou polilinha usando uma função de Kernel para ajustar uma superfície suavemente cônica a cada ponto ou polilinha.

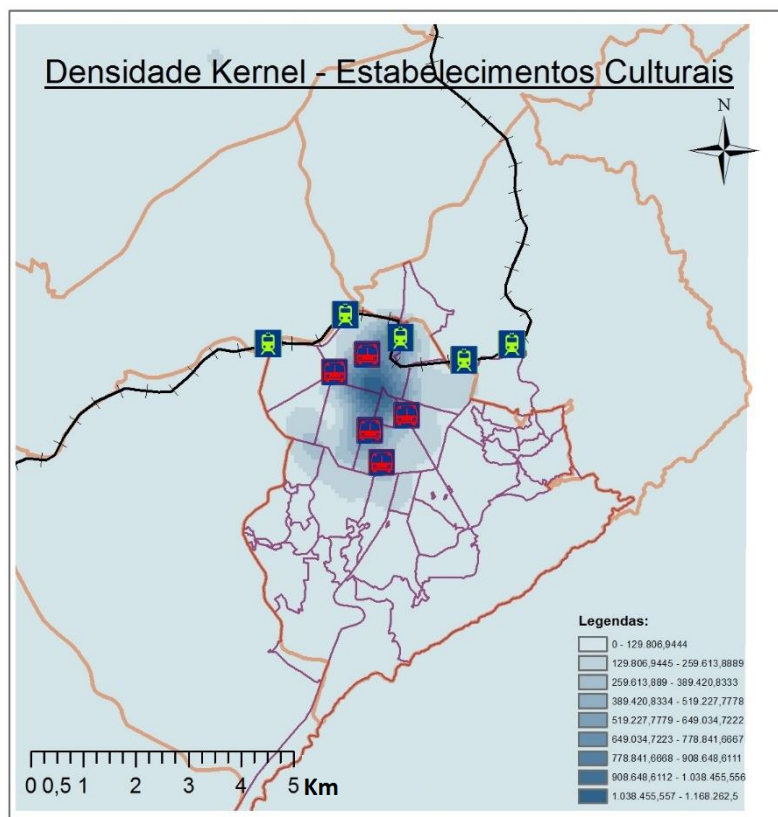


Figura 29 - Kernel para Estabelecimentos Culturais

Fonte: Elaboração própria

Os estabelecimentos culturais apresentam maior concentração entre as estações 1 e 4, região de elevado valor potencial da variável dependente.

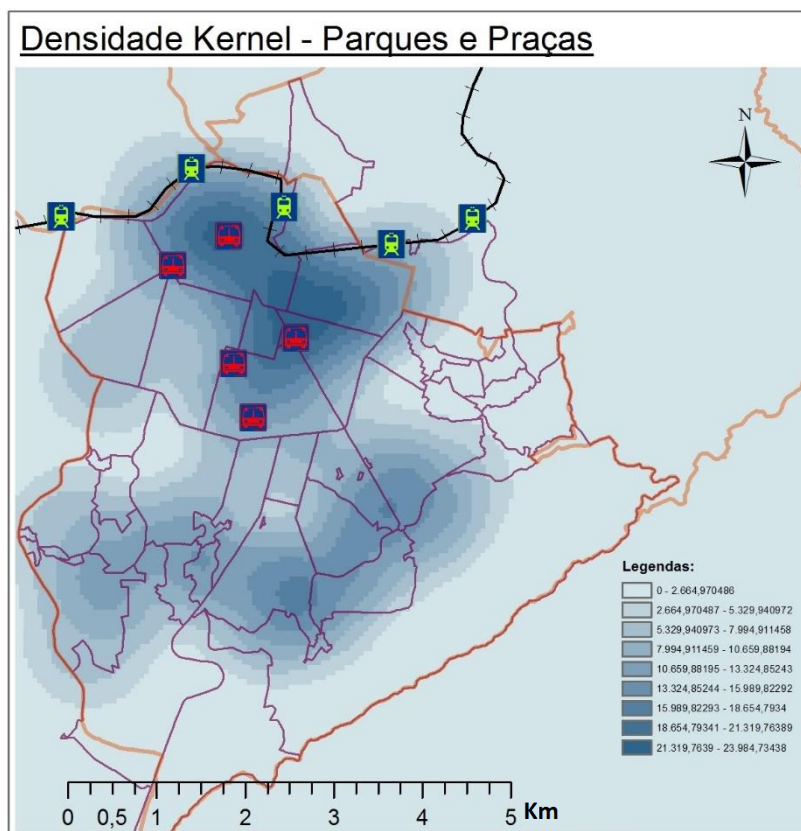


Figura 30 - Mapa de Densidade Kernel para Parques e Praças

Fonte: Elaboração própria

Os Parques e Praças apresentam maior concentração na estação 4 e densidades consideráveis nas regiões de elevado potencial local.

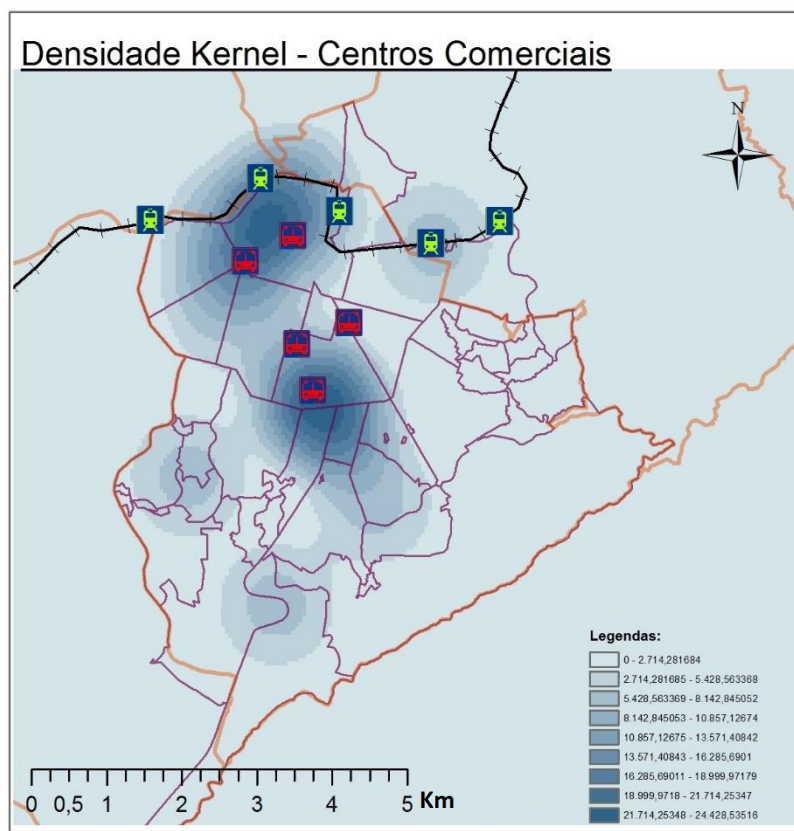


Figura 31 - Mapa Centros Comerciais

Fonte: Elaboração própria

Os grandes centros comerciais como shoppings centers e galerias de comércio de serviços apresentam maior concentração na região central da cidade, estação 1, e na região da Savassi, estação 5.

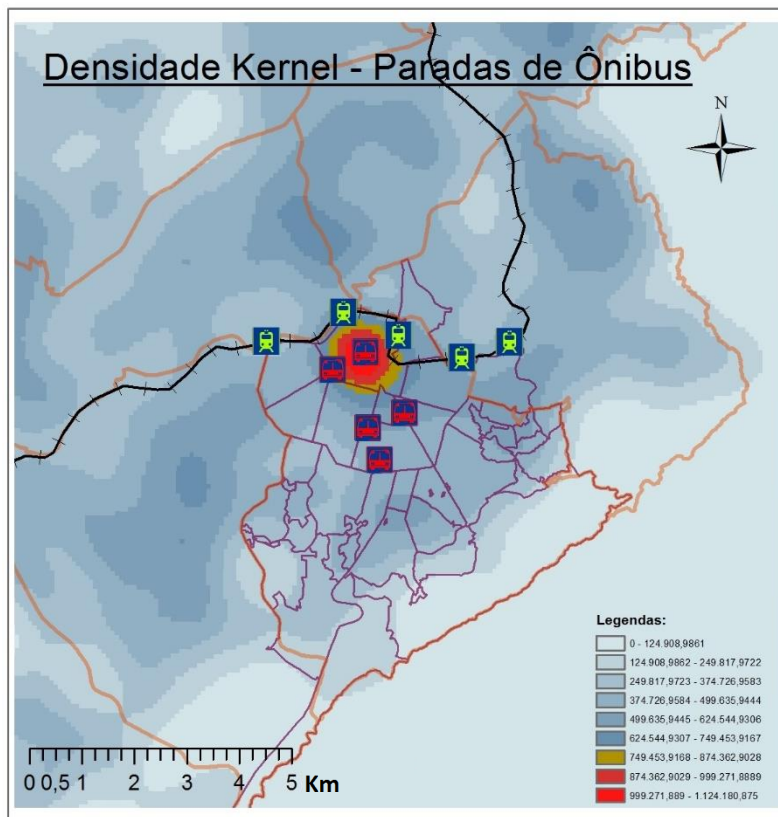


Figura 32 - Mapa de Densidade Kernel para Paradas de Ônibus

Fonte: Elaboração própria

As paradas de ônibus apresentam maior densidade também no centro da cidade em torno da praça Sete, região de alto potencial local de acordo com a variável dependente.

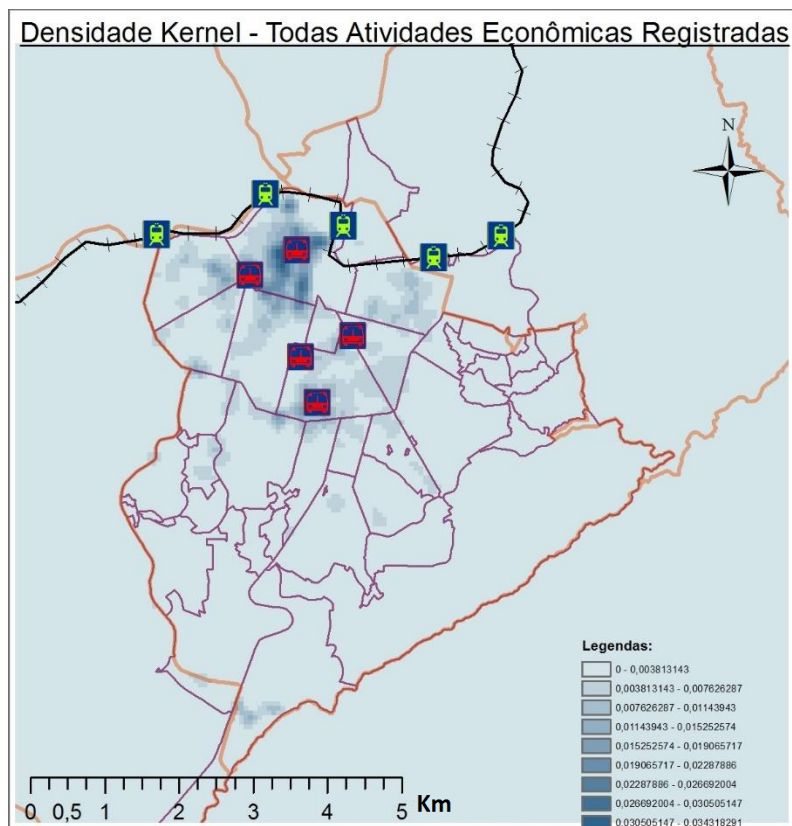


Figura 33 - Mapa de Densidade Kernel para Todas as Atividades Econômicas Registradas

Fonte: Elaboração própria

Para todas as atividades econômicas registradas no município de Belo Horizonte o mapa de Densidade Kernel apresenta agrupamentos e maiores densidades próximos as estações 1 e 2, regiões de alto valor de potencial local da variável dependente.

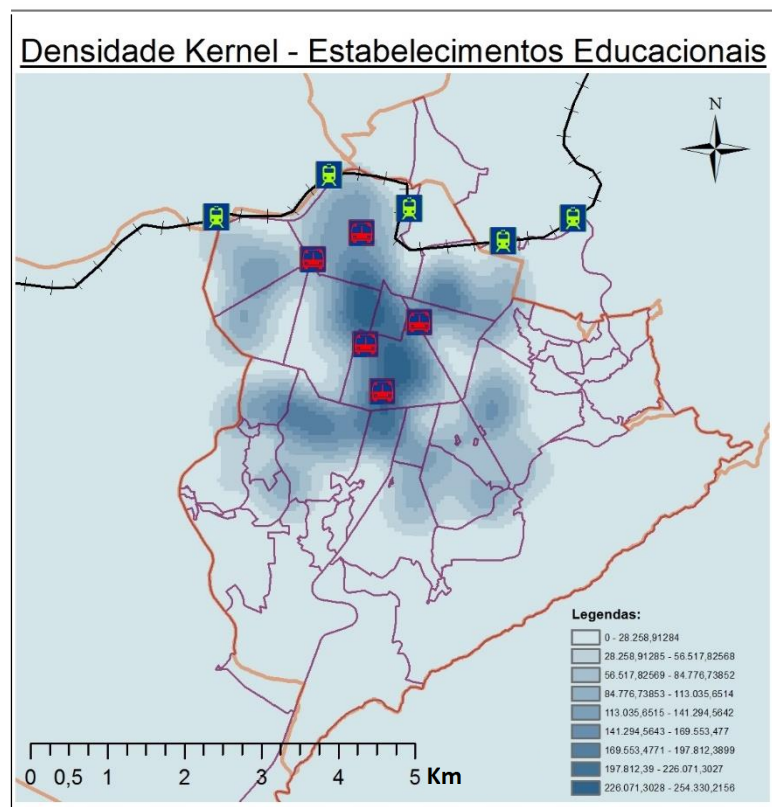


Figura 34 - Mapa de Densidade Kernel para Estabelecimentos Educacionais Fonte: Elaboração própria

Os estabelecimentos educacionais concentram-se nos entornos das estações propostas, regiões de elevado valor de potencial local da variável dependente.

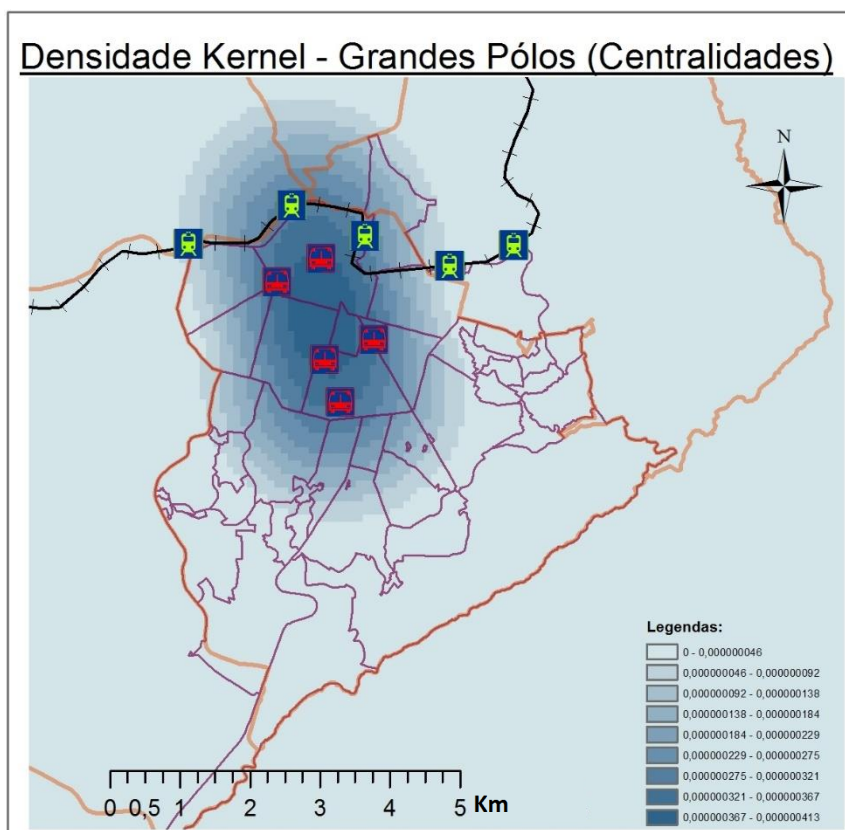


Figura 35 - Mapa de Densidade Kernel para Grandes Polos de Viagens

Fonte: Elaboração própria

Os Grande Polos levantados para o estudo como a região da praça Sete, Rodoviária, entorno da Praça da Liberdade juntamente com a Savassi, coincidem com as regiões de elevado valor de potencial local da variável dependente.

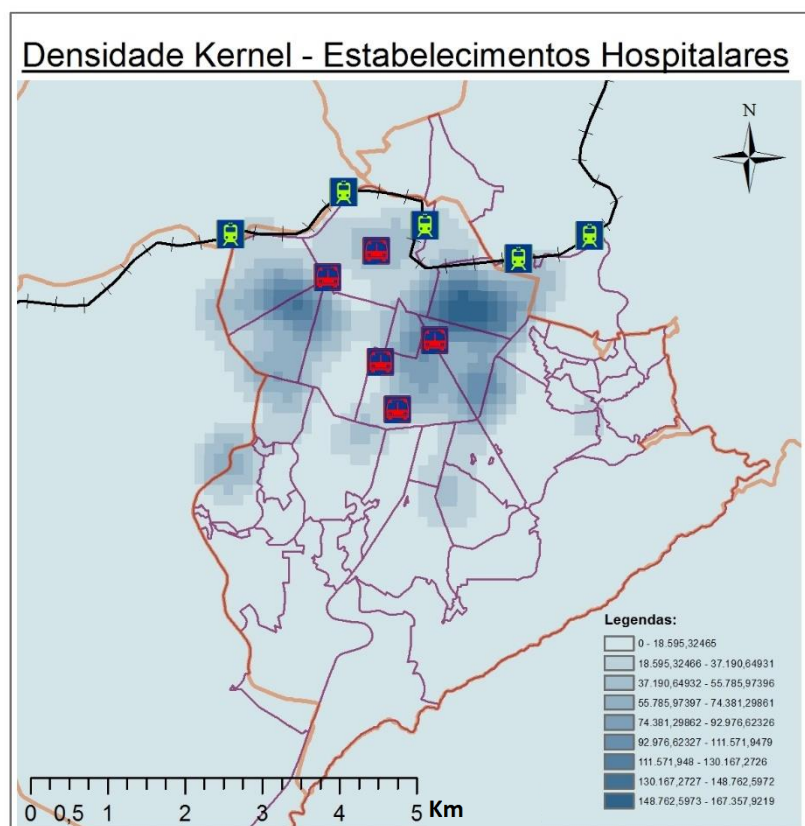


Figura 36 - Mapa de Densidade Kernel para Estabelecimentos Hospitalares

Fonte: Elaboração própria

Os estabelecimentos Hospitalares apresentam maior densidade próxima à estação 4, região já consolidada e conhecida na cidade como “Região Hospitalar”, que nesse caso seria atendida por uma estação ferroviária à menos de 500m de acordo com a escala acima.

Pode-se concluir através da análise dos mapas de Densidade Kernel que as regiões propostas e definidas pela variável dependente abrangem as áreas de maior concentração das variáveis explanatórias tornando-as variáveis potenciais para explicação do modelo.

5.2.5. Calibração por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS)

A seguir serão analisados isoladamente cada variável explanatória pela ferramenta *Ordinary Least Square* (Mínimos Quadrados Ordinários) do *Spatial Statistics Tools – ArcGIS*. Serão apresentados os valores gerados de R^2 , que

representam didaticamente o quanto a variável explanatória consegue descrever a história da variável dependente. Ainda serão analisados os mapas de Resíduos (StdResid) gerados pelo *OLS*.

O resultado padrão do *OLS* é um mapa dos resíduos do modelo. As áreas vermelhas indicam que os valores reais (sua variável dependente) são maiores do que o modelo previsto. As áreas azuis mostram onde os valores reais são menores do que o previsto. Em alguns casos, ao analisar visualmente o mapa residual lhe dará uma pista sobre o que pode estar faltando. Se for notável que o mapa está agrupado de forma abaixo do previsto (em azul) nas áreas urbanizadas, por exemplo, pode-se considerar a adição de uma variável que reflète a distância para os centros urbanos.

Determinar as variáveis espaciais que faltam não só tem potencial para melhorar o modelo, mas esse processo também pode ajudar a entender melhor o fenômeno modelado de maneiras novas e inovadoras. Um modelo é considerado adequado quando as previsões acima e abaixo refletem uma distribuição aleatório no mapa, não devendo ser notado *clusters* nesse caso. A ocorrência de casos de agrupamentos (*clusters*) nos mapas de resíduos indicam a falta de mais variáveis explicativas para o modelo.

O *OLS* é o mais conhecido de todas as técnicas de regressão. É também o ponto de partida adequado para todas as análises de regressão espacial. Ele fornece um modelo global da variável ou processo que você está tentando entender ou prever e cria uma única equação de regressão para representar esse processo.

Juntamente com o *OLS* serão analisados também isoladamente os gráficos de dispersão para cada variável explanatória, lembrando que *OLS* e Gráficos de Dispersão foram descritos e definidos em tópicos anteriores (3.1.3 e 3.1.5).

As relações lineares são positivas ou negativas. Os gráfico de dispersão que serão apresentados descrevem essas relações bem como casos em que não há relação entre duas variáveis. Os diagramas ou gráficos de dispersão mostram portanto quais as variáveis são as melhores para prever o modelo de regressão linear, apresentando também visualmente os possíveis *outliers*. Deve-se analisar o modelo com e sem os *outliers* para ver o quão impactante será nos resultados. Se os *outliers* forem informações validadas deve-se reportar a sua utilização ou não nos resultados.

A figura 37 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações, exceto próximo à estação 1 que apresenta um valor inferior. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

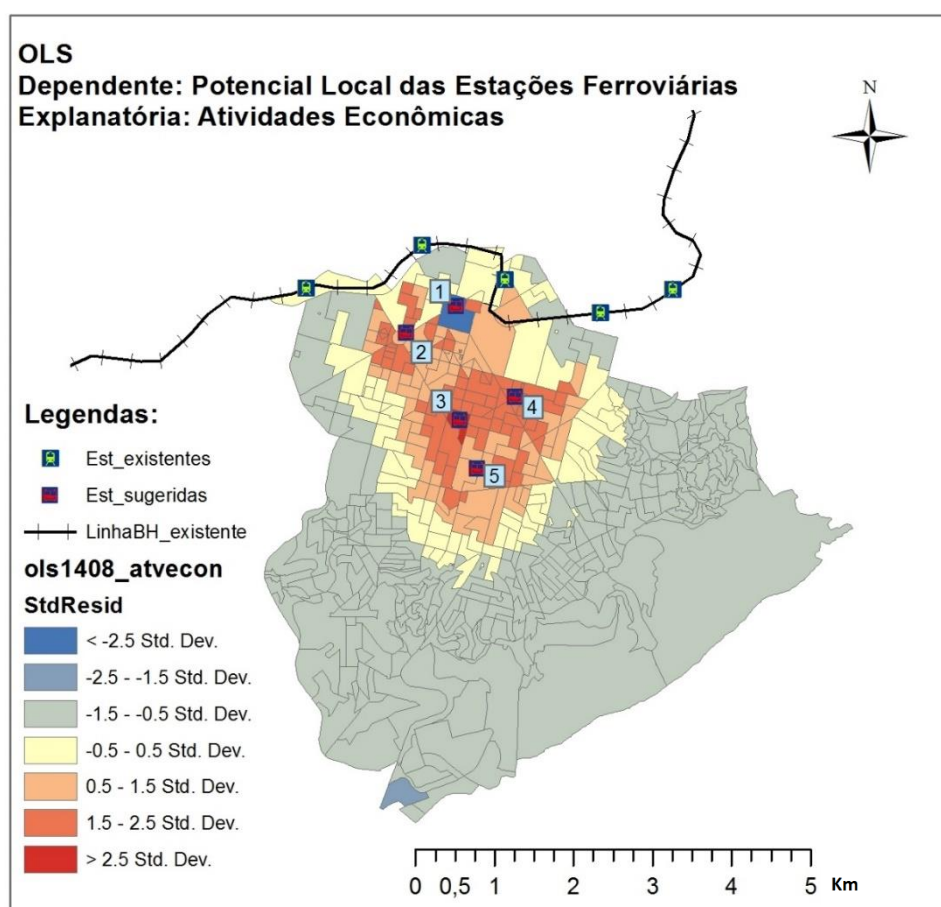


Figura 37 - OLS com explanatória das Atividades Econômicas

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 38 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “ATV_ECON” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente. Observa-se ainda a existência de um *outlier*, que não será retirado do modelo por ser uma informação validada e relevante.

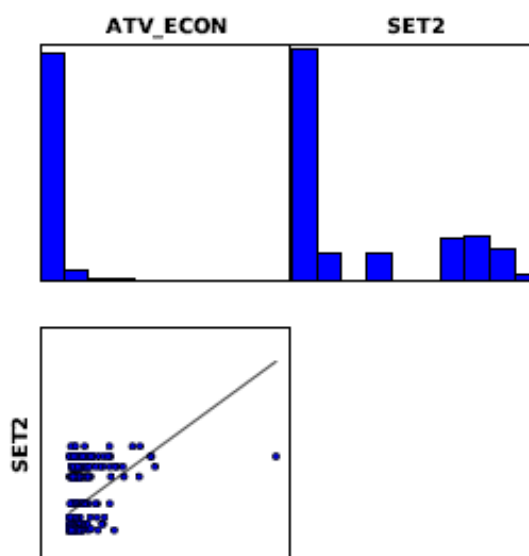


Figura 38 - Gráfico de dispersão da variável ATV_ECON

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics			
Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10757,968671
Multiple R-Squared [d]:	0,137628	Adjusted R-Squared [d]:	0,135960
Joint F-Statistic [e]:	82,509395	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	14,769245	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000122*
Koenker (BP) Statistic [f]:	46,480580	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	59,971032	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 39 - Resultados estatísticos de OLS ATV_ECON

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 39, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,135$, ou seja, ATV_ECON consegue explicar 13,5% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 40 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

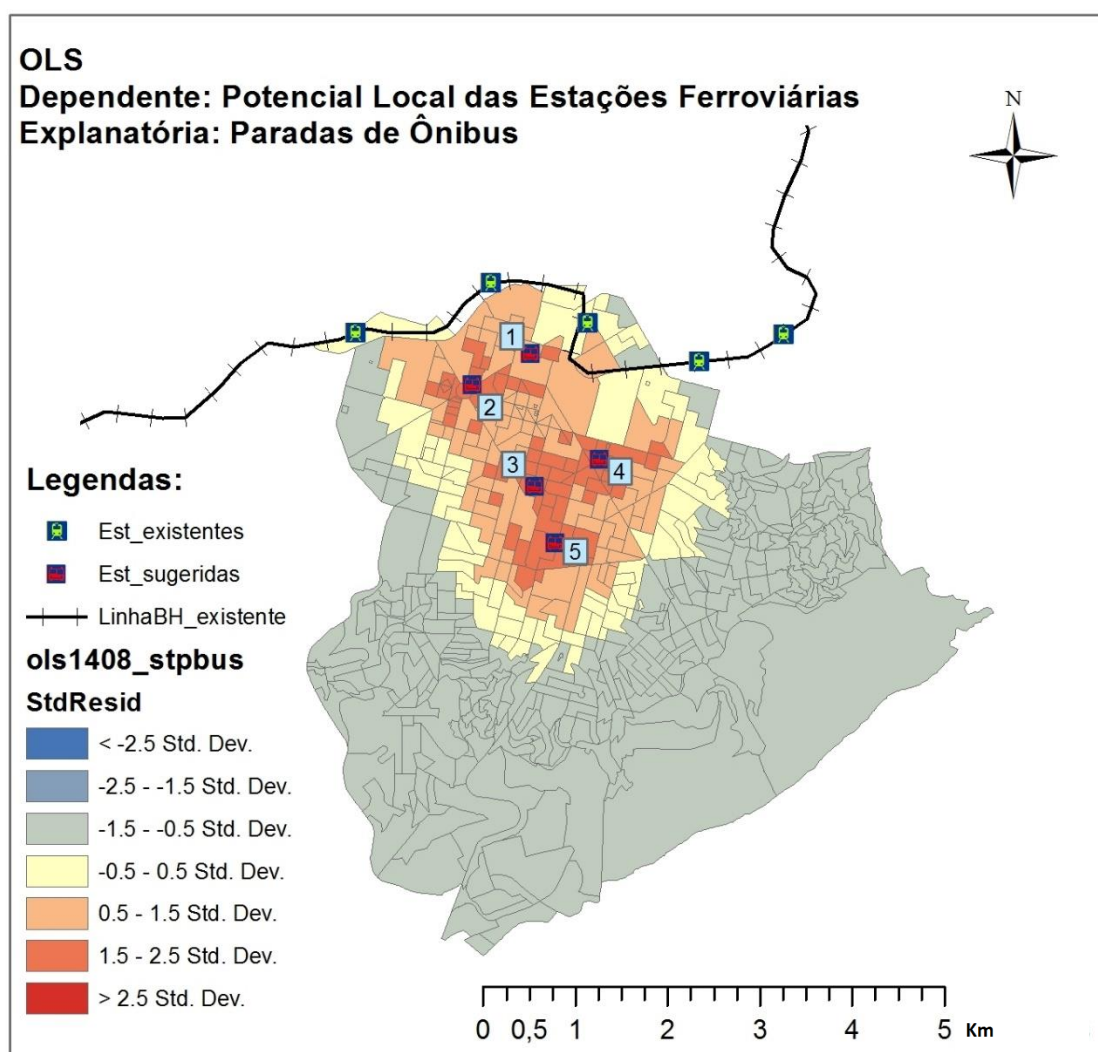


Figura 40 - OLS com explanatória das Paradas de Ônibus

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 41 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “STP_BUS” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

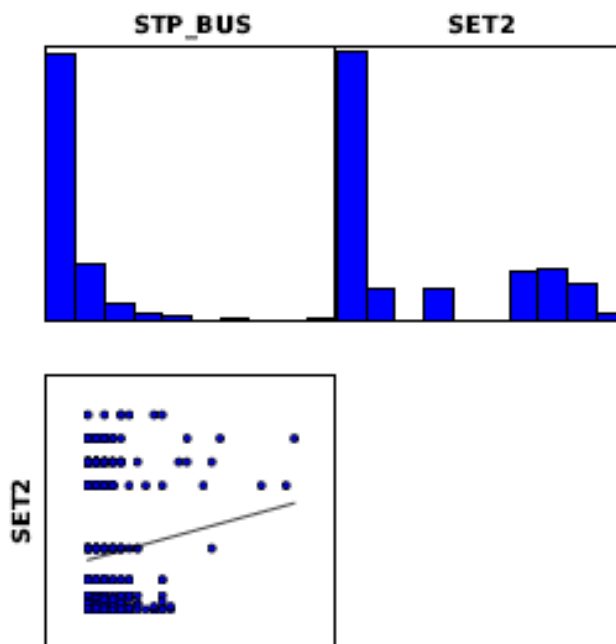


Figura 41 - Gráfico de dispersão da variável STP_BUS

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10829,481295
Multiple R-Squared [d]:	0,010227	Adjusted R-Squared [d]:	0,008312
Joint F-Statistic [e]:	5,341919	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,021211*
Joint Wald Statistic [e]:	6,089618	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,013598*
Koenker (BP) Statistic [f]:	0,060230	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,806133
Jarque-Bera Statistic [g]:	81,186168	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 42 - Resultados estatísticos de OLS STP_BUS

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 42, podem ser simplificados interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,008$, ou seja, STP_BUS que representa parcialmente o potencial de integração modal com o sistema rodoviário da região centro-sul consegue explicar 0,8% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 43 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

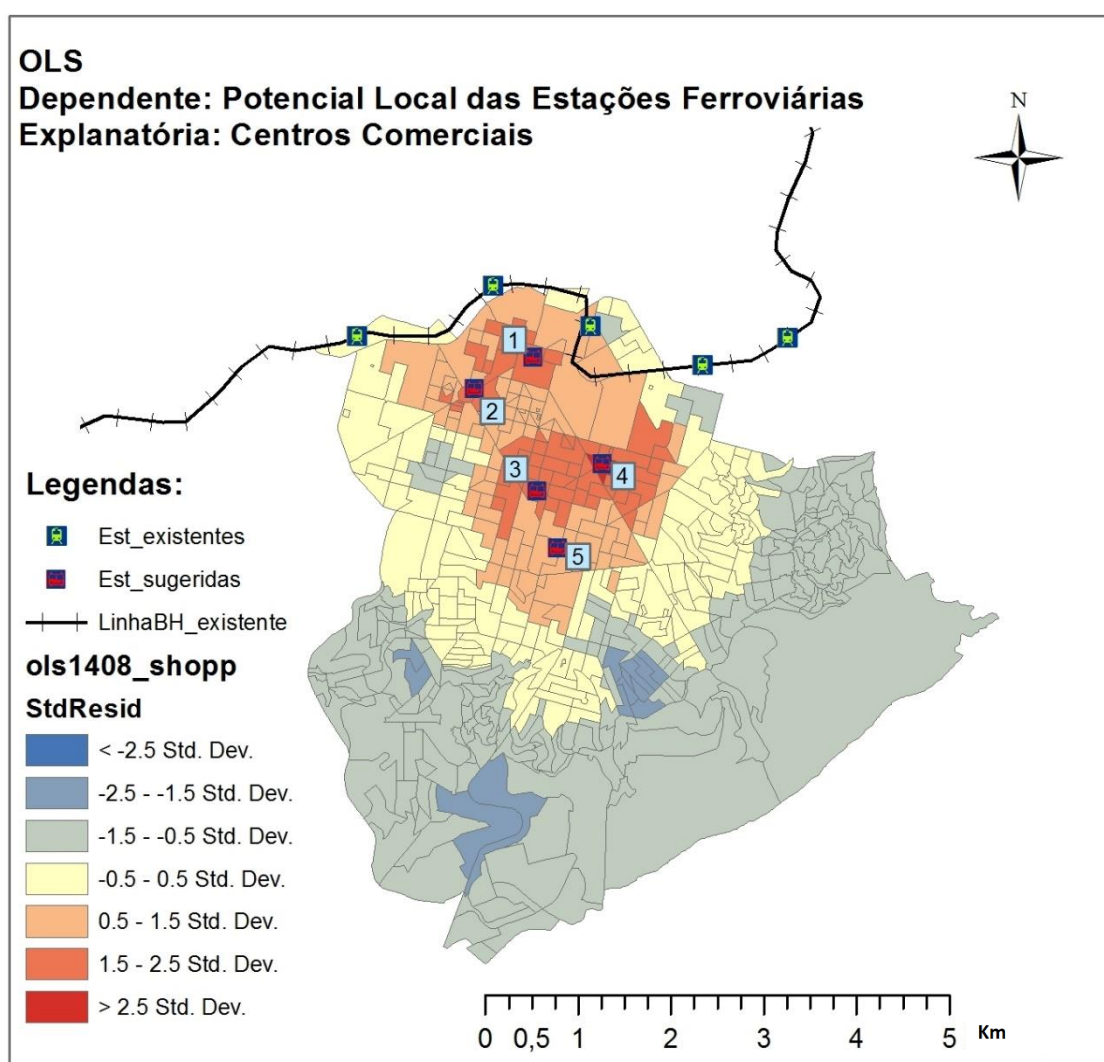


Figura 43 - OLS com explanatória dos Shoppings e Centros Comerciais

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 44 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “SHOPP” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

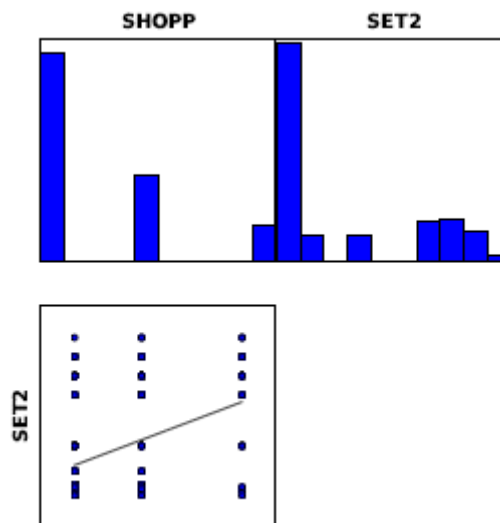


Figura 44 - Gráfico de dispersão da variável SHOPP

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics			
Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10747,477175
Multiple R-Squared [d]:	0,154886	Adjusted R-Squared [d]:	0,153251
Joint F-Statistic [e]:	94,751696	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	84,680783	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	10,513769	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,001185*
Jarque-Bera Statistic [g]:	54,297377	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 45 - Resultados estatísticos de OLS SHOPP

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 45, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,15$, ou seja, SHOPP que representa os aglomerados de galerias, centros comerciais e *shoppings centers* consegue explicar 15,32% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 46 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

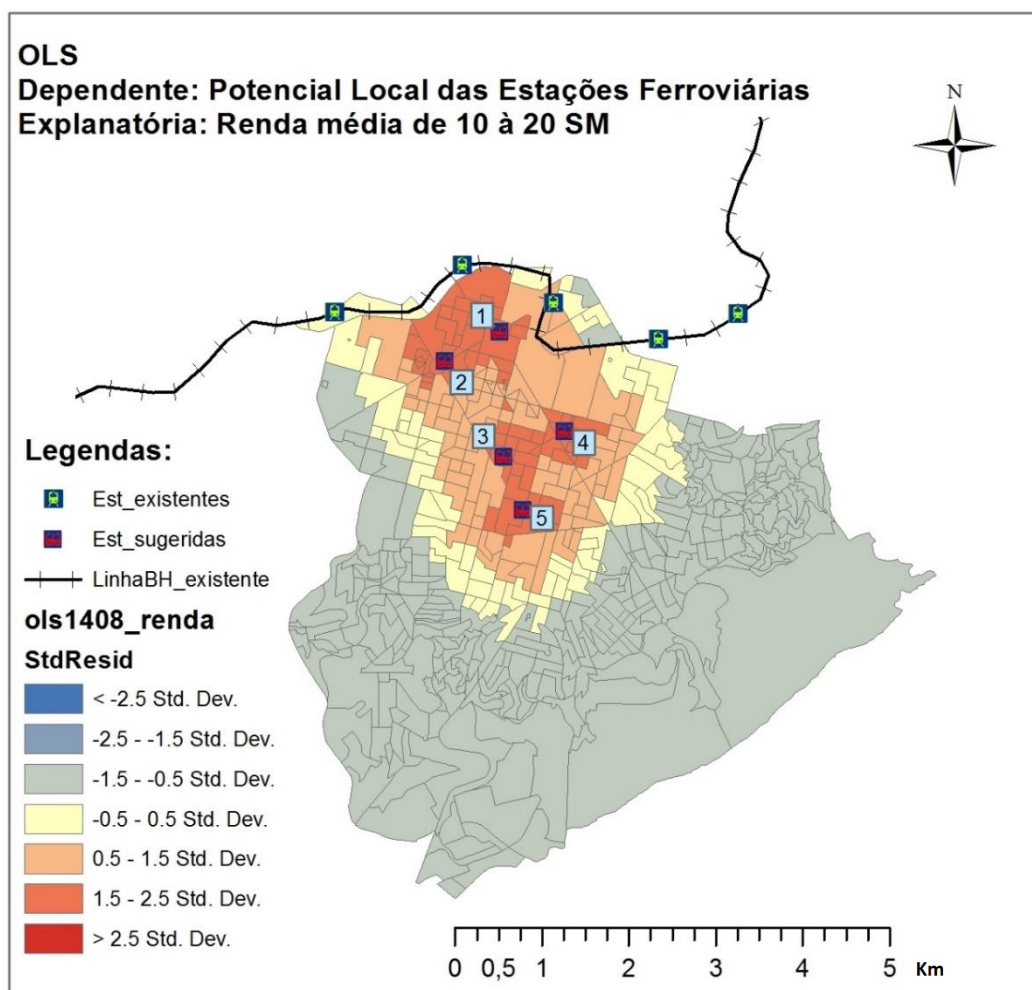


Figura 46 - OLS com explanatória dos moradores com renda média de 10 à 20 SM

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 47 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “REND_10^a2” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

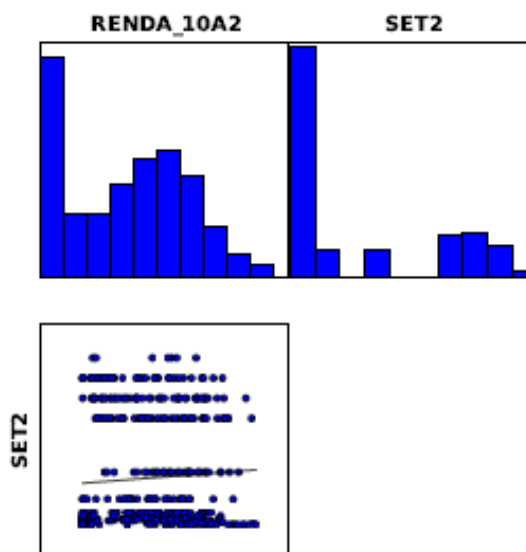


Figura 47 - Gráfico de dispersão da variável REND_10^a2

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10832,678436
Multiple R-Squared [d]:	0,004111	Adjusted R-Squared [d]:	0,002185
Joint F-Statistic [e]:	2,134082	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,144664
Joint Wald Statistic [e]:	2,289259	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,130272
Koenker (BP) Statistic [f]:	0,393582	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,530423
Jarque-Bera Statistic [g]:	81,795091	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 48 - Resultados estatísticos de OLS REND_10^a2

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 48, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, d = 0,002, ou seja, REND_10^a2, que representa os moradores com renda média de 10 à 20 salários mínimos, consegue explicar 0,2% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 49 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

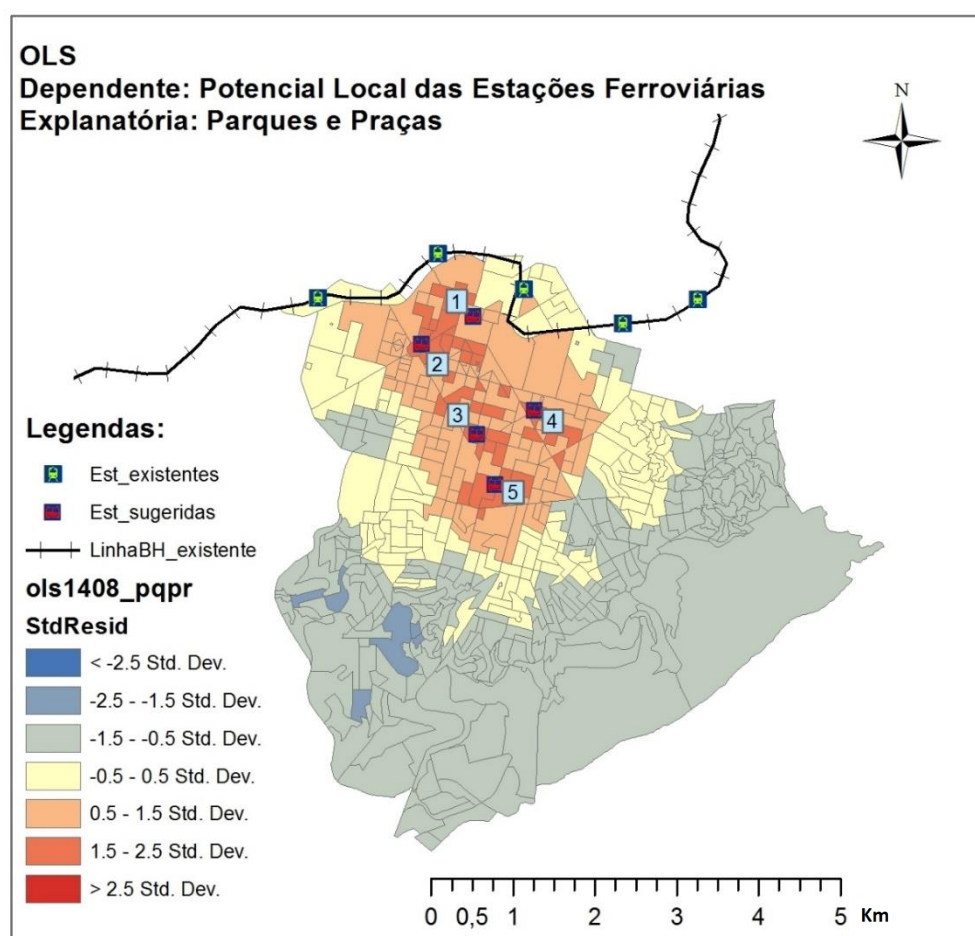


Figura 49 - OLS com explanatória de Parques e Praças

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 50 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “PQ_PRC” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

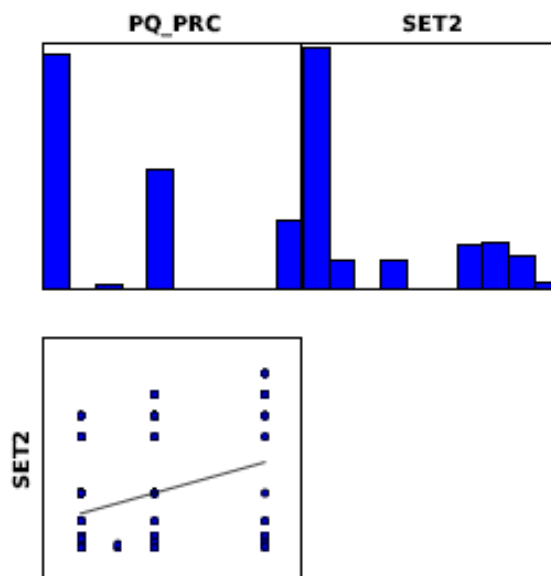


Figura 50 - Gráfico de dispersão da variável PQ_PRC

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10778,102425
Multiple R-Squared [d]:	0,103517	Adjusted R-Squared [d]:	0,101783
Joint F-Statistic [e]:	59,697742	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	44,605023	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	102,260427	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	53,544867	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 51 - Resultados estatísticos de OLS PQ_PRC

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 51, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,1017$, ou seja, PQ_PRC, que representa a quantidade de parques e praças relevantes na região, consegue explicar 10,17% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 52 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

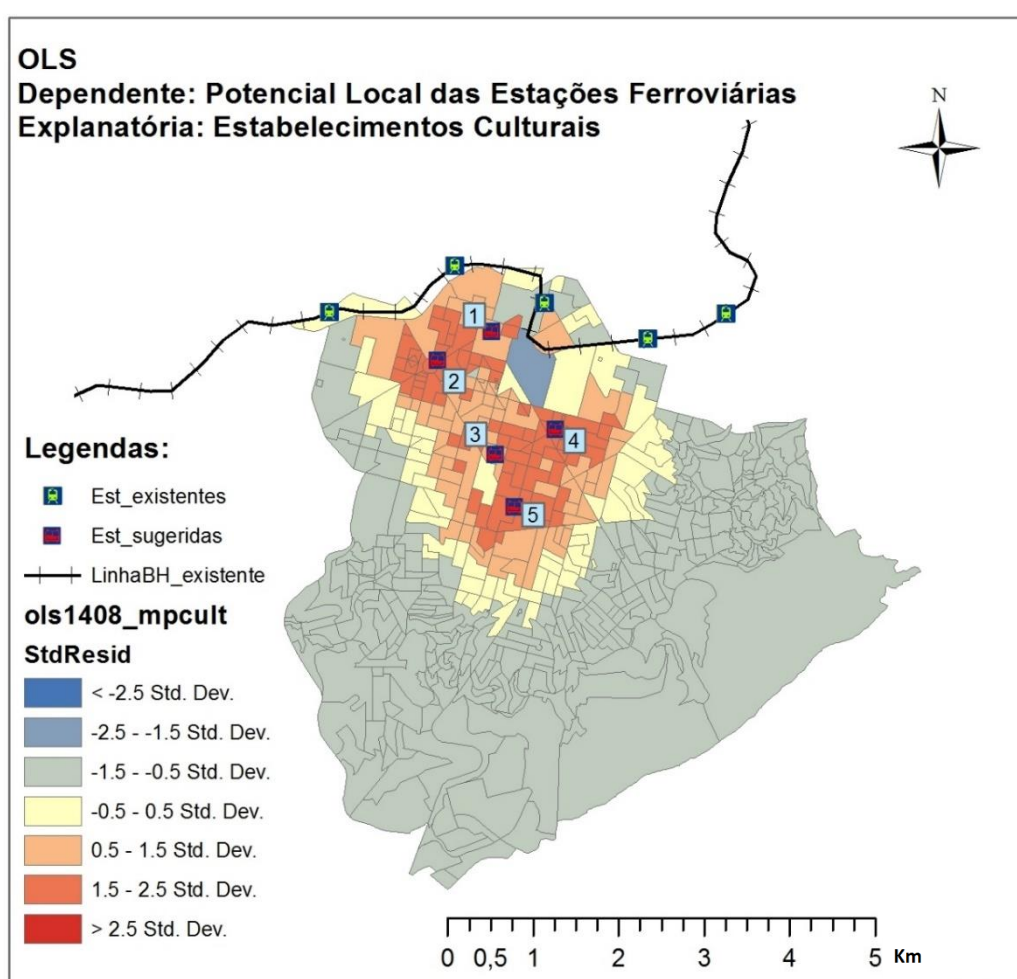


Figura 52 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Culturais

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 53 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “MP_CULT” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

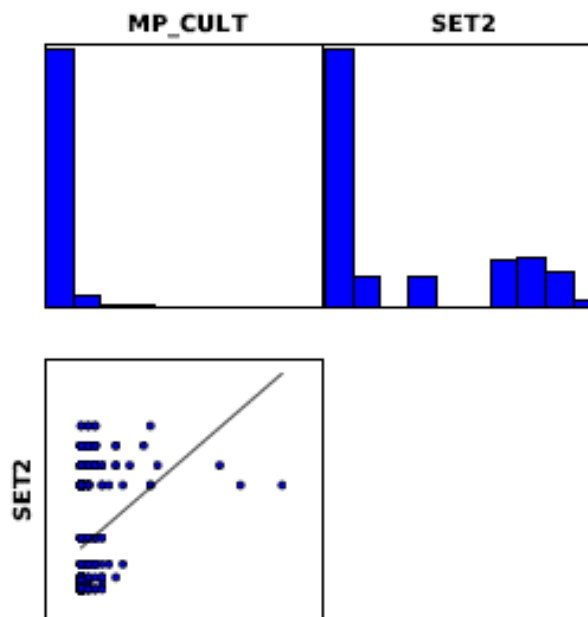


Figura 53 - Gráfico de dispersão da variável MP_CULT

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics			
Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10801,365728
Multiple R-Squared [d]:	0,062419	Adjusted R-Squared [d]:	0,060605
Joint F-Statistic [e]:	34,419006	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	16,277517	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000055*
Koenker (BP) Statistic [f]:	7,661318	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,005642*
Jarque-Bera Statistic [g]:	80,164605	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 54 - Resultados estatísticos de OLS MP_CULT

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 54, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,06067$, ou seja, MP_CULT, que representa os estabelecimentos culturais relevantes na região centro-sul, consegue explicar 6,06% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 55 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

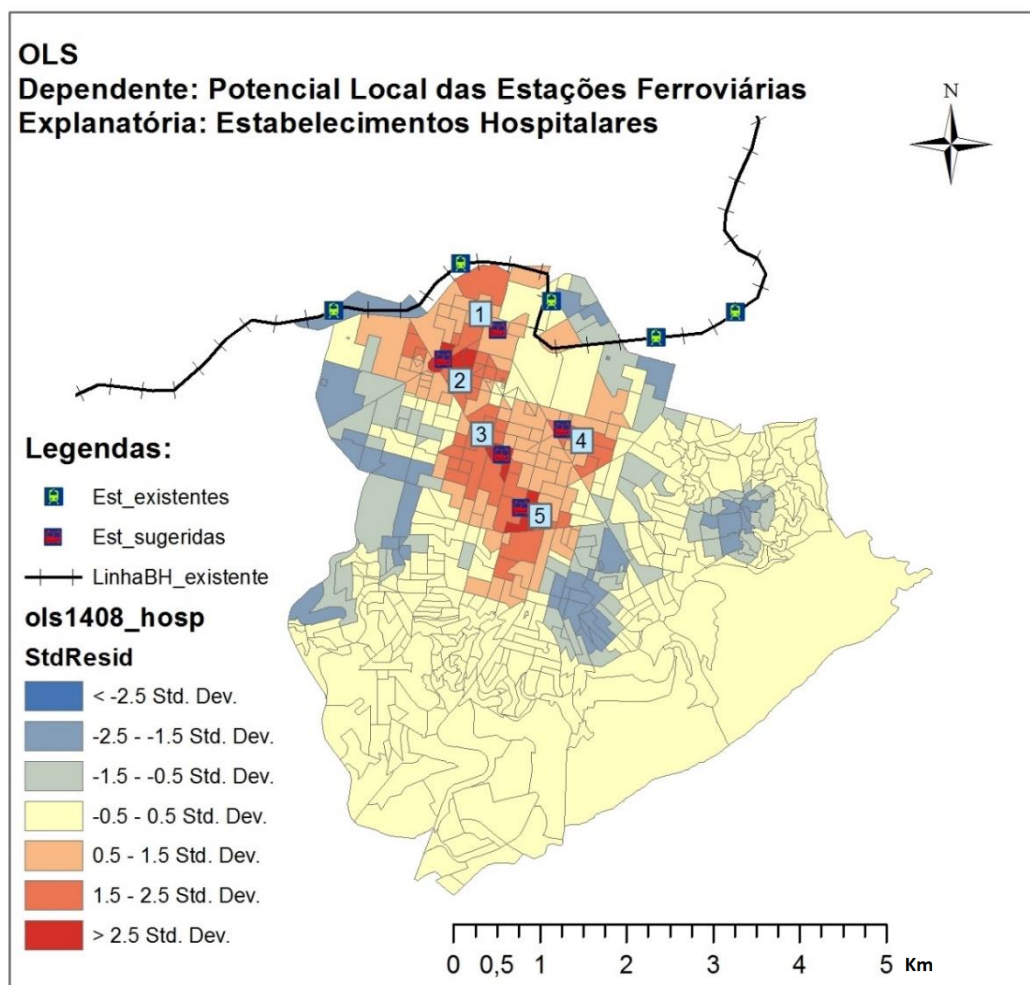


Figura 55 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Hospitalares

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 56 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “HOSP” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

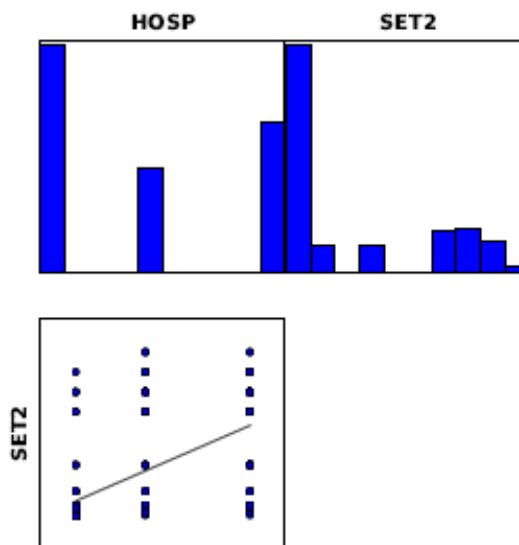


Figura 56 - Gráfico de dispersão da variável HOSP

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10603,189293
Multiple R-Squared [d]:	0,360005	Adjusted R-Squared [d]:	0,358767
Joint F-Statistic [e]:	290,818825	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	297,120388	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	44,729763	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	31,514200	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 57 - Resultados estatísticos de OLS HOSP

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 57, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,3587$, ou seja, HOSP, que representa os estabelecimentos hospitalares relevantes na região centro-sul, consegue explicar 35,87% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 58 abaixo apresenta os resíduos de menos agrupada em relação as figuras anteriores, com valores maiores e menores de resíduos em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

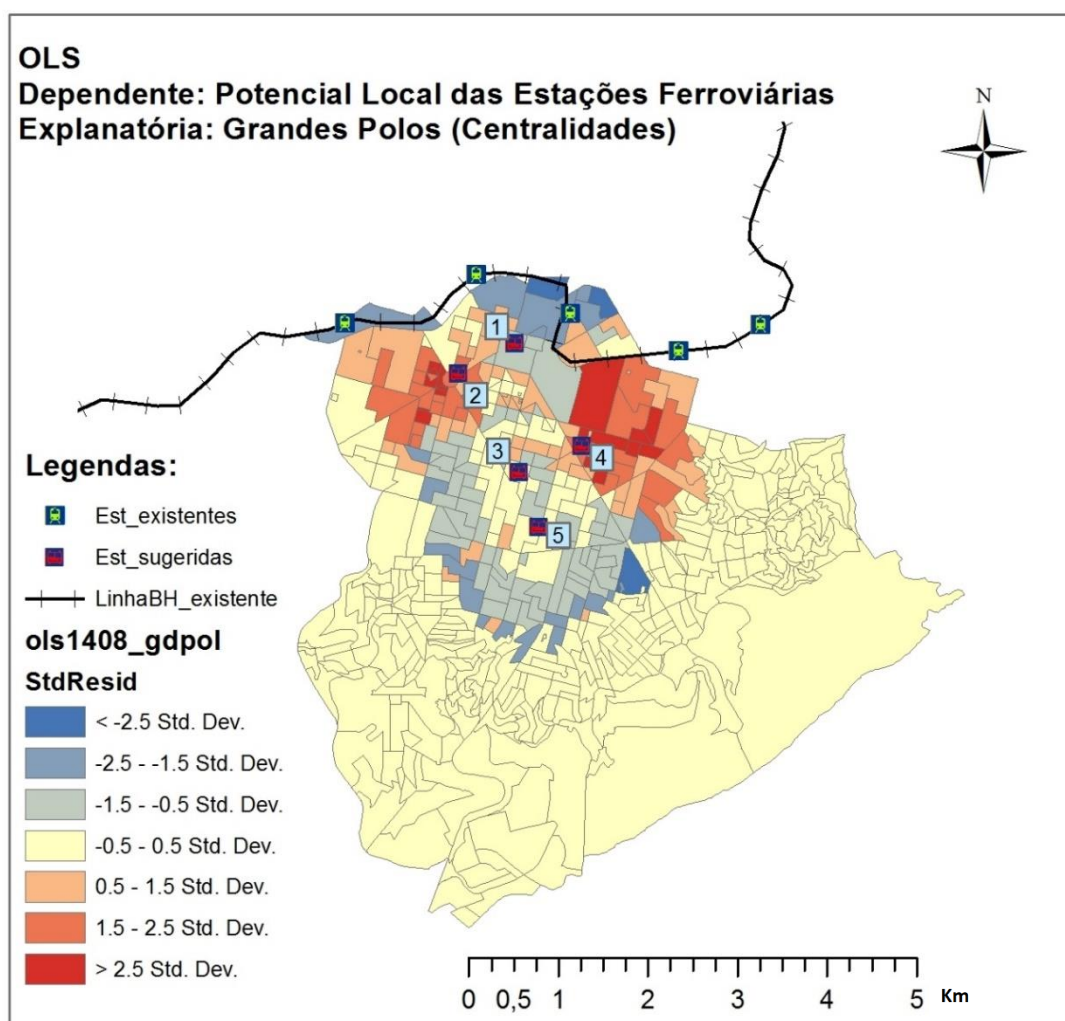


Figura 58 - OLS com explanatória de Centralidades

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 59 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “GDE_POL” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

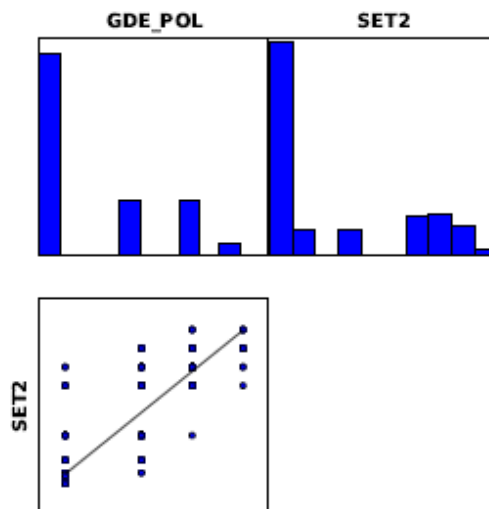


Figura 59 - Gráfico de dispersão da variável GDE_POL

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10003,969661
Multiple R-Squared [d]:	0,798277	Adjusted R-Squared [d]:	0,797887
Joint F-Statistic [e]:	2045,922720	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	2533,606687	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	8,840975	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,002945*
Jarque-Bera Statistic [g]:	480,993376	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 60 - Resultados estatísticos de OLS GDE_POL

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 60, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,7978$, ou seja, GDE_POL, que representa as centralidades na região centro-sul, consegue explicar 79,78% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 61 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

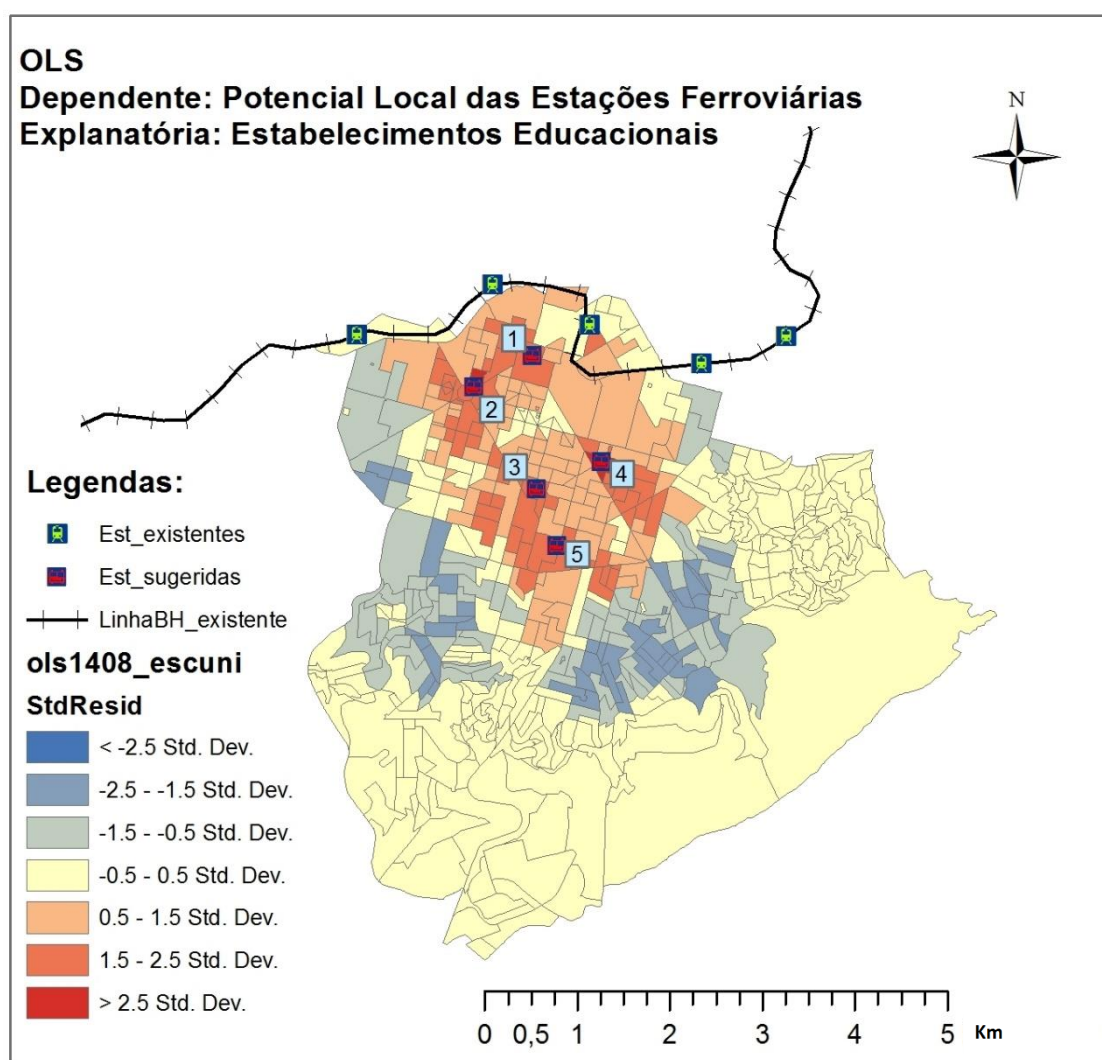


Figura 61 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Educacionais

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 62 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “ESC_UNIV” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

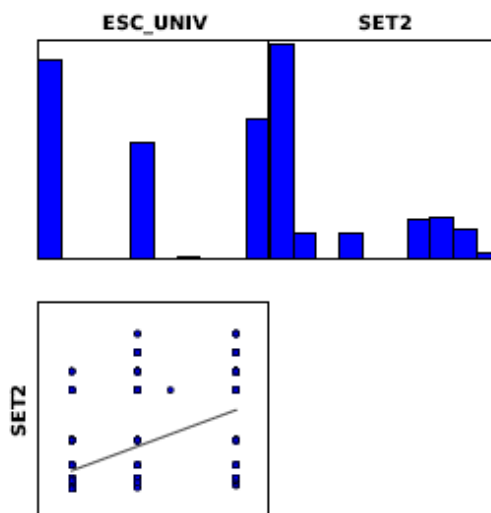


Figura 62 - Gráfico de dispersão da variável ESC_UNIV

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10684,948262
Multiple R-Squared [d]:	0,250810	Adjusted R-Squared [d]:	0,249361
Joint F-Statistic [e]:	173,078995	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	173,656658	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	62,234038	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	29,218598	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 63 - Resultados estatísticos de OLS ESC_UNIV

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 63, podem ser simplifcadamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,249$ ou seja, ESC_UNIV, que representa os estabelecimentos educacionais relevantes na região centro-sul, consegue explicar 24,93% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 64 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

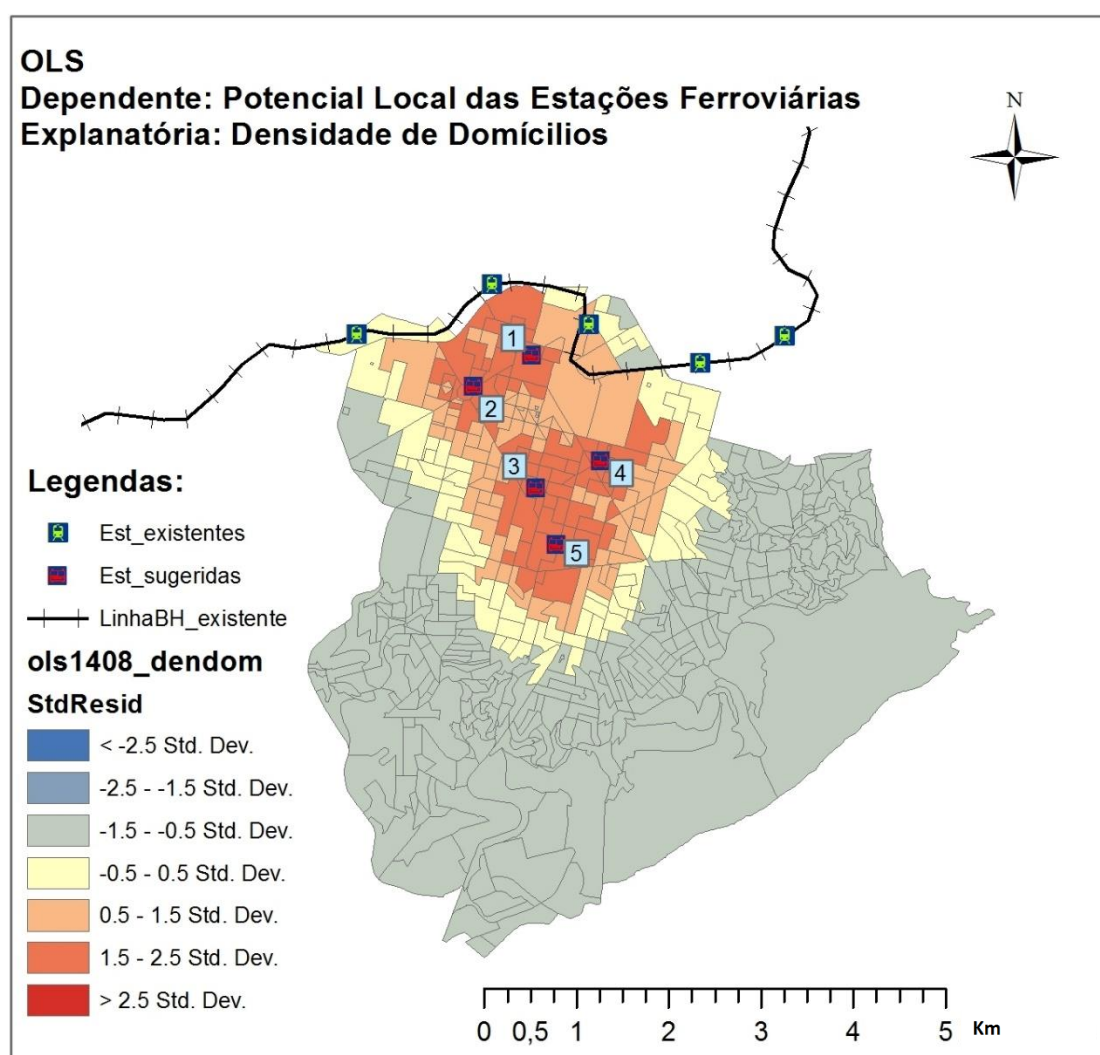


Figura 64 - OLS com explanatória de Densidade de Domicílios

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 65 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “DEN_DOMC” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

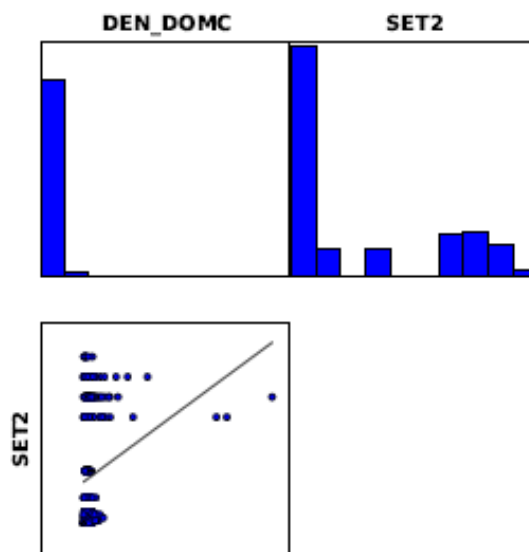


Figura 65 - Gráfico de dispersão da variável DEN_DOMC

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics			
Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10819,434687
Multiple R-Squared [d]:	0,029202	Adjusted R-Squared [d]:	0,027325
Joint F-Statistic [e]:	15,551718	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,000091*
Joint Wald Statistic [e]:	19,015735	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000013*
Koenker (BP) Statistic [f]:	0,001750	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,966632
Jarque-Bera Statistic [g]:	82,781198	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 66 - Resultados estatísticos de OLS DEN_DOMC

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 66, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,0273$ ou seja, DEN_DOMC, que representa a quantidade de domicílios por metro quadrado em cada setor censitário na região centro-sul, consegue explicar 2,73% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

A figura 67 abaixo apresenta os resíduos de forma agrupada, com valores propostos pelas variáveis explanatórias maiores que os valores reais em torno das estações. Ao se afastar das estações sugeridas os resíduos apresentam valores mais próximos de zero. O resultado do mapa de resíduos sugere a falta de variáveis explanatórias para um modelo de maior confiabilidade, já que o ideal seria um mapa de resíduos com uma distribuição aleatória.

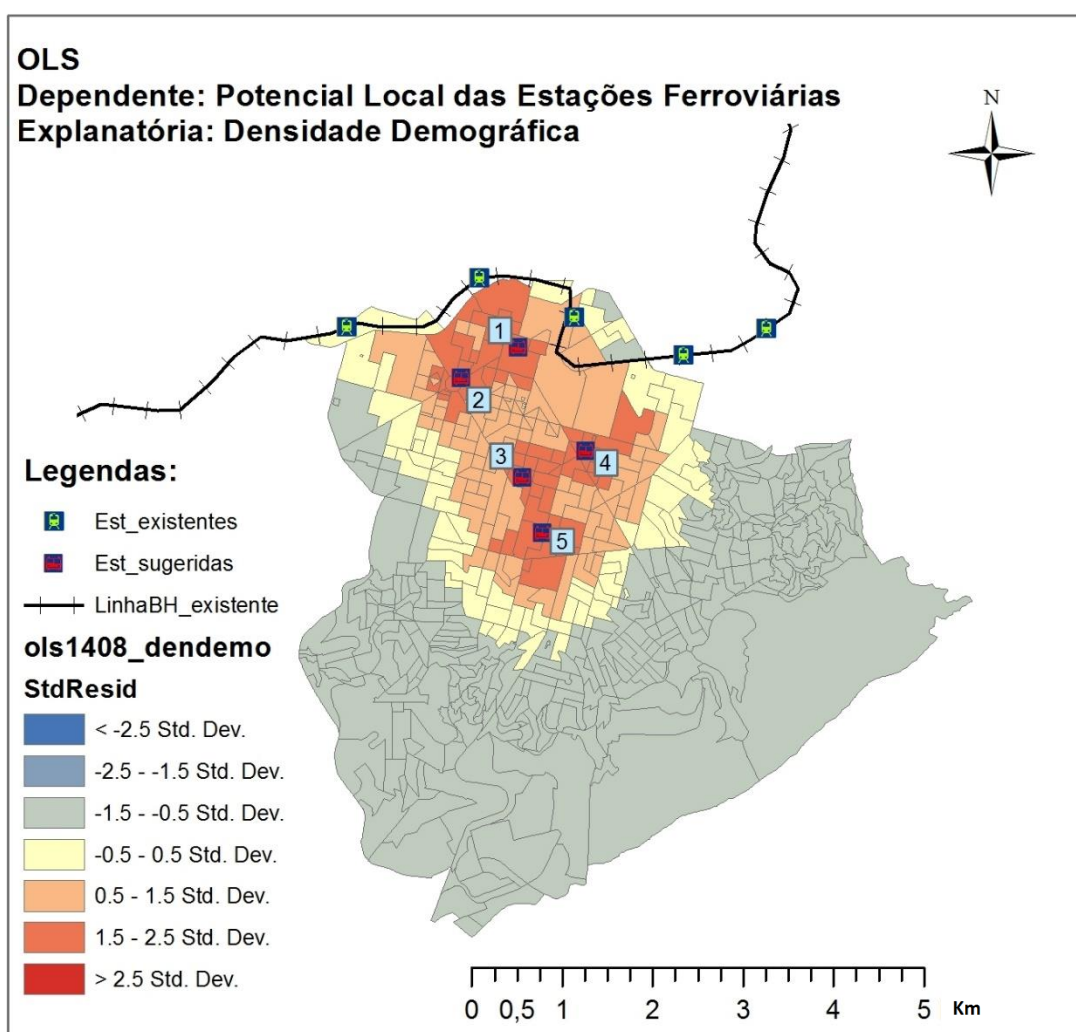


Figura 67 - OLS com explanatória de Estabelecimentos Educacionais

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão apresentado na figura 68 abaixo apresenta uma tendência de relação direta entre a variável explanatória “DDEM_KM2OMC” *versus* variável dependente “SET2”, segmento de reta ascendente.

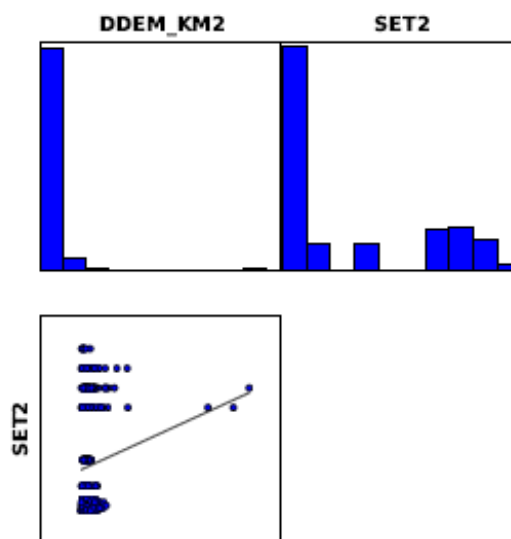


Figura 68 - Gráfico de dispersão da variável DDEM_KM2

Fonte: Elaboração própria

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	10829,175754
Multiple R-Squared [d]:	0,010809	Adjusted R-Squared [d]:	0,008896
Joint F-Statistic [e]:	5,649518	Prob(>F), (1,517) degrees of freedom:	0,017823*
Joint Wald Statistic [e]:	19,714721	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,000009*
Koenker (BP) Statistic [f]:	1,975942	Prob(>chi-squared), (1) degrees of freedom:	0,159819
Jarque-Bera Statistic [g]:	81,923614	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 69 - Resultados estatísticos de OLS DDEM_KM2

Fonte: Elaboração própria

Os resultados estatísticos apresentados acima na figura 69, podem ser simplificadaamente interpretados pelo valor de *Adjusted R-Squared*, $d = 0,00889$ ou seja, DDEM_KM2, que representa a quantidade de moradores por metro quadrado em cada setor censitário na região centro-sul, consegue explicar 0,88% dos locais escolhidos como potencial para implantação das estações ferroviárias.

5.3. RESULTADOS FINAIS DO OLS E RGP/GWR

A figura 70 abaixo apresenta a consolidação dos indicadores para análise das variáveis explanatórias e seus respectivos resultados obtidos pelo OLS. Nota-se os resíduos com uma distribuição mais aleatória em relação aos demais quando analisados separadamente. A seguir serão discriminados os resultados relevantes para análise:

- I. A aleatoriedade no mapa de resíduos citada é um indicador de confiabilidade no modelo para prosseguimento da análise;

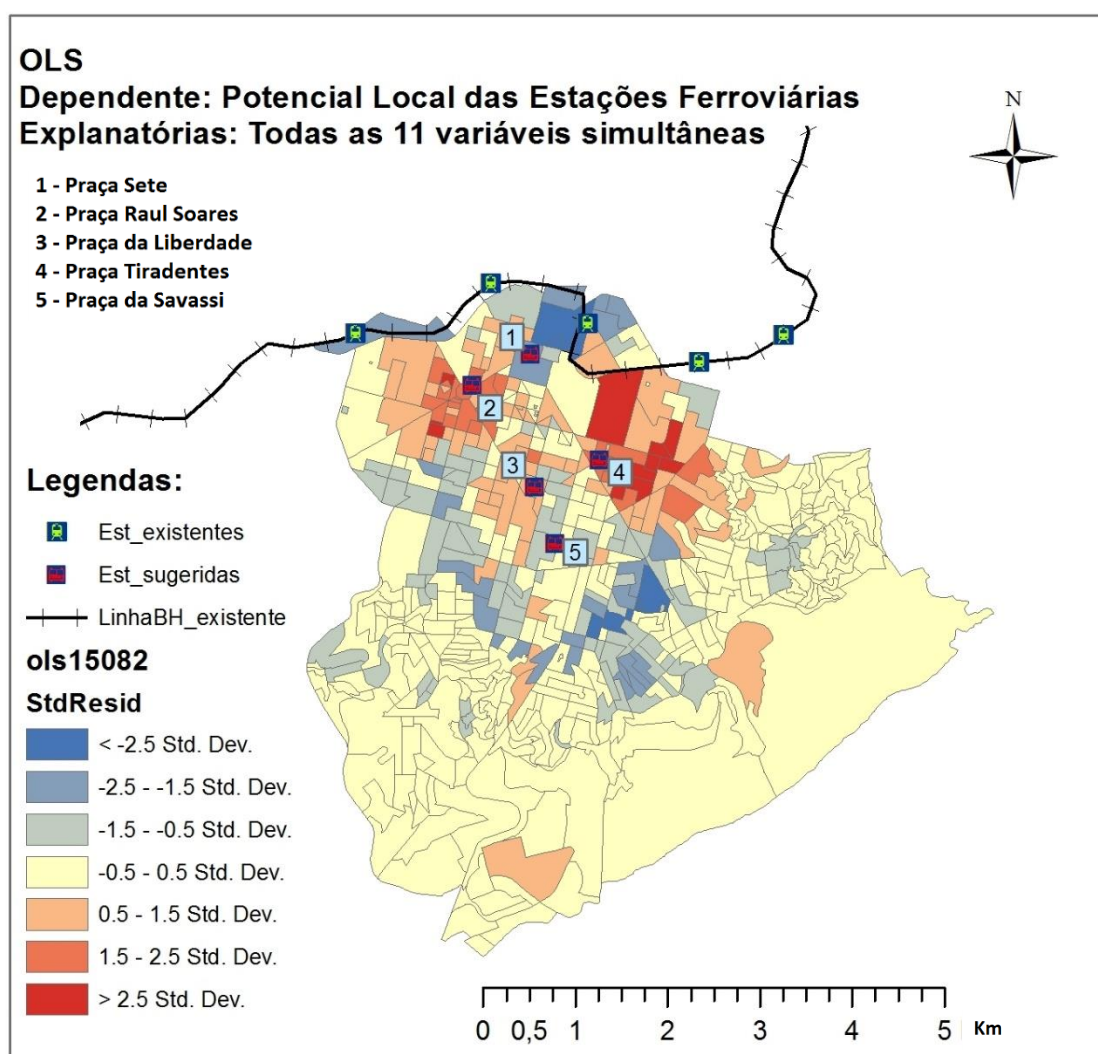


Figura 70 - OLS contendo todas as 11 variáveis explanatórias

Fonte: Elaboração própria

- II. Os coeficientes (*Coeficient [a]*, figura 70) apresentam os sinais esperados, de acordo com o Referenciais Bibliográficos e Metodológicos pesquisados, e seus valores variam adequadamente em função otimização do modelo culminando em indicadores como: PQ_PRC, GDE_POL e HOSP como os mais expressivos para o modelo.
- a) Os três indicadores citados representam importantes características para uma região de implantação de estações ferroviárias e se destacaram entre os demais devido a especificidade da região centro-sul de Belo Horizonte.
 - b) A proposta de estudo em regiões consolidadas urbanisticamente tornou, por exemplo, a variável explanatória de centralidades (GDE_POL) da região centro-sul uma forte norteadora desse modelo, visto que selecionamos a região interna a Av. do Contorno e como foi apresentado é uma região que se desenvolveu como centralidade a mais tempo e tem uma localização geográfica privilegiada em relação as demais regiões.
 - c) A variável explanatória de parques e praças relevantes da região centro-sul (PQ_PRC), confirmou também a particularidade desse tipo de análise para cada cidade e cada região. As 5 estações sugeridas tem todas elas em seu local de implantação uma praça relevante da região centro-sul. Os demais parques e praças também se concentram em torno desses pontos e decrescem à medida que se afastam.
 - d) Outra peculiaridade da região de centro-sul de Belo Horizonte é a quantidade de estabelecimentos hospitalares que se concentram dentro do perímetro da Av do Contorno, em especial a reconhecida “Região Hospitalar”, próxima à estação sugerida de número 04, concordando portanto comportamento da variável explanatória “HOSP” com o modelo.
- III. A verificação do valor “VIF” indica a redundância das variáveis explanatórias em relação a variável dependente. Se o valor de VIF for maior que 7,5, então esse é um indicativo de que existe a redundância, ou seja, a variável explanatória conta a mesma história da mesma forma que a variável dependente. Matematicamente é como se $y(x) = y(x)$. Observa-se na figura 71, que os valores de “VIF” encontram-se todos inferiores a 7,5, aproximadamente entre 1,1 e 1,9, portanto pode-se prosseguir na análise do modelo com a confiabilidade adequada.

Summary of OLS Results - Model Variables								
Variable	Coefficient [a]	StdError	t-Statistic	Probability [b]	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr [b]	VIF [c]
Intercept	224,021802	437,446510	0,512112	0,608806	329,516143	0,679851	0,496906	-----
DDEM_KM2	0,011405	0,005060	2,254088	0,024602*	0,004096	2,784471	0,005563*	1,162706
QNT_DOM	0,610071	1,748793	0,348852	0,727358	1,567313	0,389246	0,697271	1,107832
REND_10A2	-845,611270	696,786954	-1,213587	0,225473	618,545867	-1,367095	0,172212	1,174850
PQ_PRC	403,646894	83,602417	4,828173	0,000003*	99,668258	4,049904	0,000066*	1,116390
SHOPP	160,276893	97,805500	1,638731	0,101901	122,284788	1,310685	0,190565	1,231174
HOSP	643,420364	80,328570	8,009857	0,000000*	102,027622	6,306335	0,000000*	1,474164
ESC_UNIV	228,437854	80,225703	2,847440	0,004590*	83,541829	2,734413	0,006467*	1,410407
GDE_POL	2694,171457	86,831011	31,027756	0,000000*	106,319611	25,340306	0,000000*	1,814205
MP_CULT	40,725167	77,463044	0,525737	0,599311	78,510200	0,518725	0,604189	1,484490
STP_BUS	-170,290169	77,301613	-2,202932	0,028035*	104,743140	-1,625788	0,104628	2,397011
ATV_ECON	1,927122	0,834897	2,308217	0,021374*	1,209750	1,592993	0,111798	2,202504

Figura 71 - Tela de coeficientes do OLS gerada pelo Arcgis

Fonte: Elaboração própria

- IV. A figura 72 destaca o resultado estatístico “*Koenker (BP) statistic [f]*” e sua respectiva probabilidade na coluna em frente “[11]”, um valor próximo de zero com um asterisco. O asterisco representa que esse resultado significância estatística. O valor próximo de zero indica um bom comportamento do modelo.
- V. Como resultado estatístico principal do OLS para o estudo, tem-se o “*Adjusted R-Squared [d]*”. Depreende-se desse valor o quanto a variação do valor de potencial (SET2) da região centro-sul, determinada pelas 5 estações sugeridas, é explicada pelo modelo criado com as 11 variáveis explanatórias. O valor encontrado foi de 0,8423, representado como 84,23% da variação de potencial de implantação das 5 estações ferroviárias pode ser explicada pelas 11 variáveis explanatórias em estudo.

OLS Diagnostics

Input Features:	bh_cs_t8	Dependent Variable:	SET2
Number of Observations:	519	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	9885,609362
Multiple R-Squared [d]:	0,845684	Adjusted R-Squared [d]:	0,842335
Joint F-Statistic [e]:	252,586956	Prob(>F), (11,507) degrees of freedom:	0,000000*
Joint Wald Statistic [e]:	3610,682899	Prob(>chi-squared), (11) degrees of freedom:	0,000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	107,840411	Prob(>chi-squared), (11) degrees of freedom:	0,000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	146,587907	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0,000000*

Figura 72 - Resultados estatísticos gerados pelo OLS do Arcgis

Fonte: Elaboração própria

- VI. A aplicação da metodologia utilizada na tese do pesquisador Dr. Simon Blainey que foi a Regressão Geograficamente Ponderada (RGP) ou *GRW* (sigla em inglês utilizada no *software* ArcGIS), assim como foi citado anteriormente, é obviamente adequada e uma ferramenta poderosa para este tipo de estudo, segundo o autor. A vantagem estatística é de que o resultado de um Modelo de Regressão Global como o *OLS*, pode ser otimizado e aprimorado pelo RGP em determinados casos, esse é um deles, pois ocorre uma variação local para cada uma das variáveis de maneiras distintas. O teste “*Koenker (BP) Statistic [f]*” apresentado na figura 72 é estatisticamente significativo, conforme asterisco indicado, portanto devem existir relações não-estacionárias entre: algumas ou todas as suas variáveis explicativas e sua variável dependente. Isso significa, por exemplo, que a variável de estabelecimentos hospitalares (HOSP) pode ser um importante preditor de potencial de implantação de estações ferroviárias (SET2) em alguns locais do estudo, mas talvez um preditor fraco em outros locais. Sempre que o teste de Koenker é estatisticamente significativo, isso indica que provavelmente a aplicação da Regressão Geograficamente Ponderada (RGP) irá melhorar os resultados do modelo.

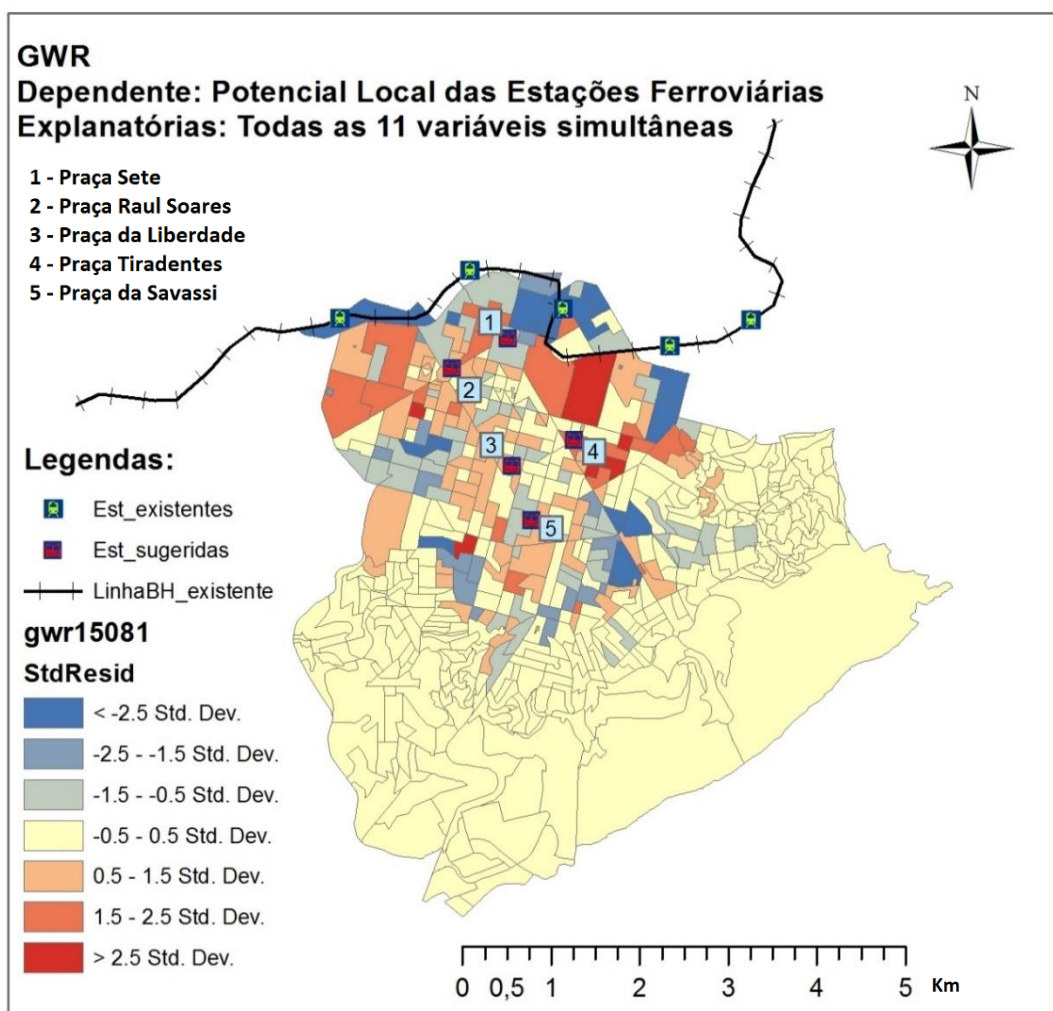


Figura 73 - Mapa de resíduos gerados pela RGP

Fonte: Elaboração própria

A figura 73 acima representa um dos resultados finais do modelo proposto através da espacialização dos StdResid (resíduos), após a aplicação da ferramenta de Regressão Geograficamente Ponderada (RGP). Como foi descrito na explicação dos mapas gerados pelo OLS a aleatoriedade dos resíduos indica que as variáveis explanatórias estão explicando adequadamente a variável dependente, diferentemente dos mapas OLS anteriores que muitas vezes apresentaram resíduos agrupados nos mapas, indicativo de que faltavam variáveis explicativas para explicar a variável dependente.

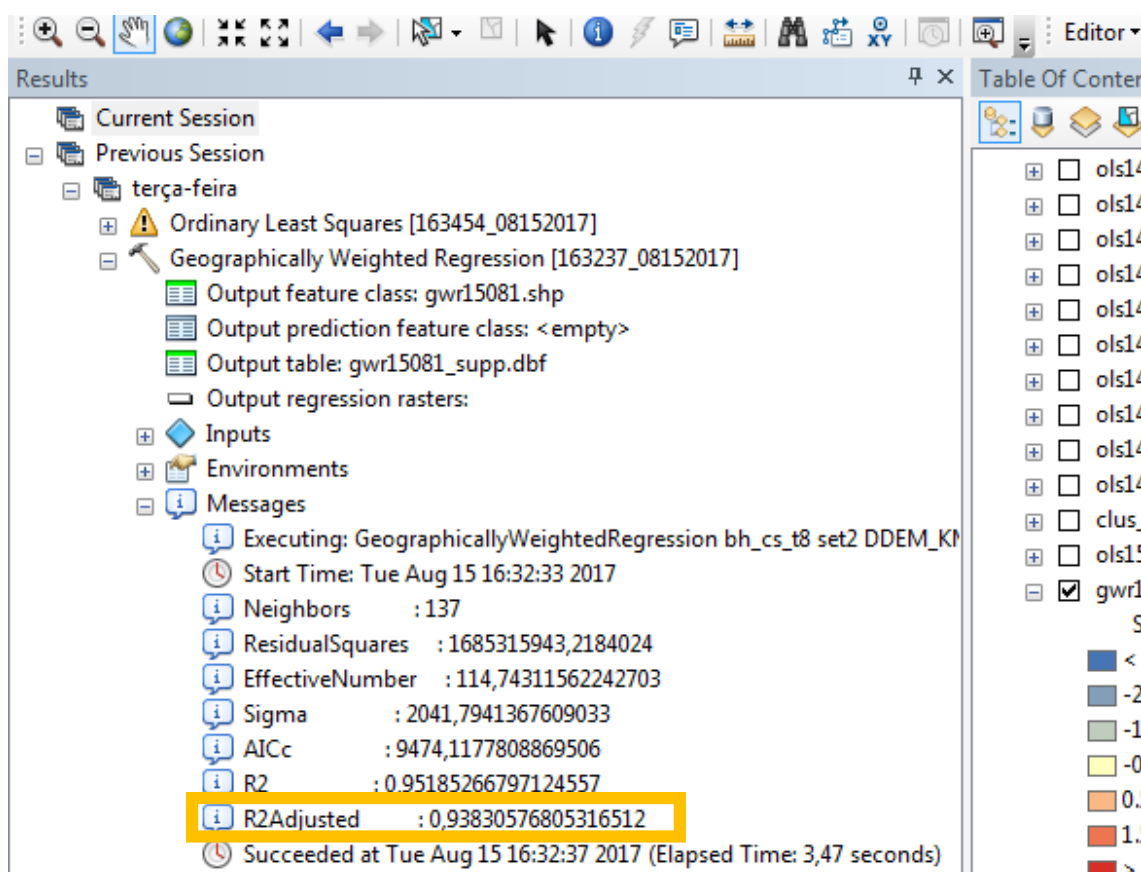


Figura 74 - Print dos resultados RGP pelo programa Arcgis

Fonte: Elaboração própria

A figura 74 é uma tela capturada que apresenta o solve da ferramenta GWR no programa Arcgis, com os respectivos dados estatísticos, e assim como foi introduzido nesse capítulo sobre a importância do valor de “*R2Adjusted*”, foi destacado esse resultado de 0,93 que representa para o modelo apresentado uma elevada eficiência das variáveis explanatórias em prever e explicar os locais sugeridos como potenciais locais para receber estações de passageiros sobre trilhos na região centro-sul de Belo Horizonte.

Considerando a capacidade de 93% apresentado pelo modelo em explicar a variação dos valores de potencial local criados a partir das 5 estações sugeridas, pode-se ainda depreender qual dentre as 5 estações é melhor explicada pelo modelo.

QUINTO LUGAR: A estação sugerida Nº 02, localizada geograficamente na praça Raul Soares apresenta um maior nível de agrupamento dos resíduos, através da análise visual do mapa gerado na figura 74. Esse é um indicativo de que as 11 variáveis explanatórias propostas explicam a variação de potencial determinada pela variável dependente “SET2” com um menor nível de confiabilidade em relação às demais.

Como resultado da classificação das estações sugeridas para implantação a partir da análise de *clusters* (agrupamentos no mapa de resíduos) no entorno das demais estações sugeridas, tem-se a seguinte ordem:

QUARTO LUGAR: Nº 04, localizada na praça Tiradentes;

TERCEIRO LUGAR: Nº 03, localizada na praça da Liberdade;

SEGUNDO LUGAR: Nº 05, localizada na praça da Savassi;

PRIMEIRO LUGAR: Nº 01, localizada na praça Sete;

Com o objetivo de diminuir os *clusters* do mapa de resíduos gerados pelo GRW para aumentar a confiabilidade do modelo, propõem-se então a retirada da estação sugerida Nº 02, localizada na praça Raul Soares. Nesse local observou-se agrupamentos que indicam que as 11 variáveis explanatórias não são suficientemente capazes de explicar adequadamente a variação de potencial nessa região. Segue abaixo o resultado gerado pelo GWR com as 4 estações restantes.

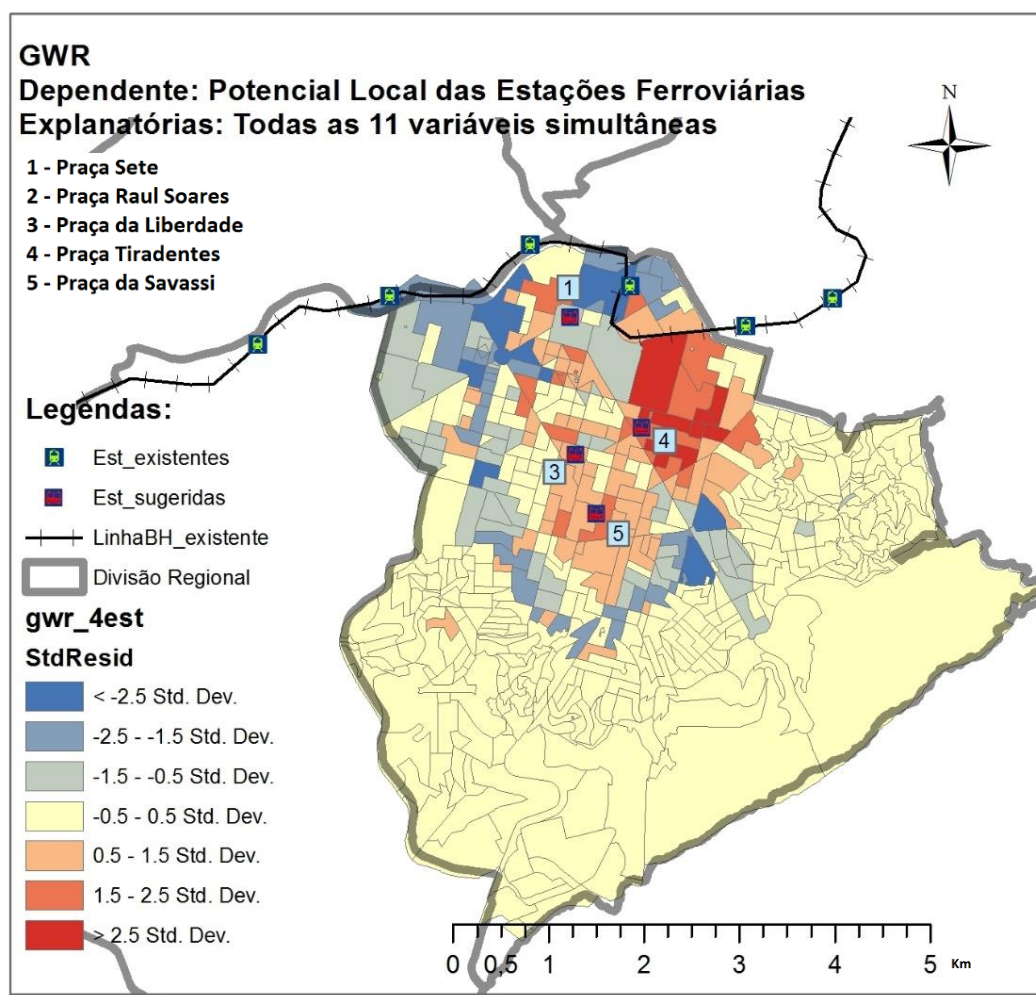


Figura 75 - Mapa de Resíduos de RGP excluía a estação sugerida na Praça Raul Soares

Fonte: Elaboração própria

O mapa de resíduos representado na figura 75, apresenta uma inversão de clusters em relação ao mapa de resíduos gerados com as 5 estações sugeridas (figura 73). Esse fato ocorre especificamente na região de exclusão da estação número 02 (Praça Raul Soares). A aleatoriedade que era presente no entorno da estação 04 também passa a ter clusters de cor vermelha, indicando que os valores da variável dependente está maior em relação ao modelo proposto.

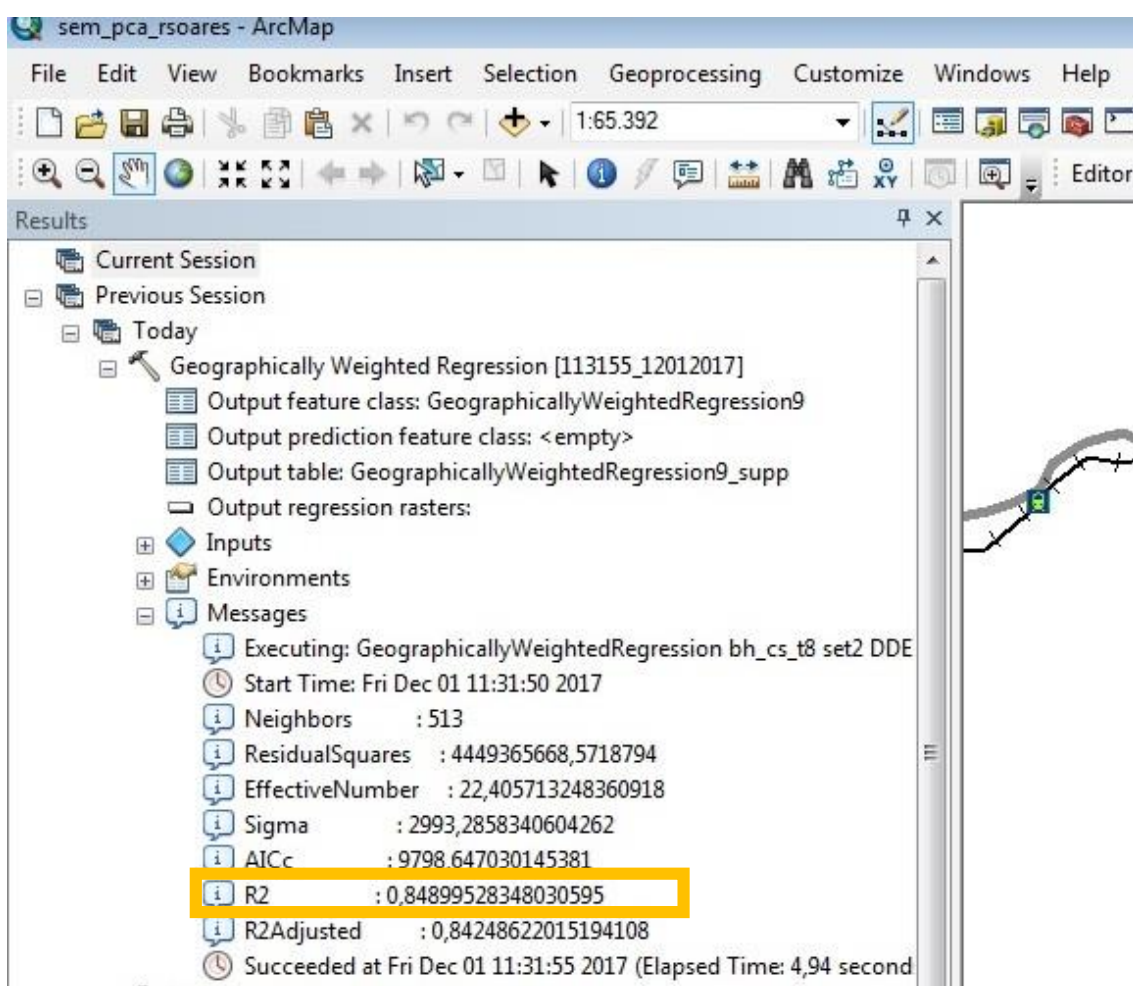


Figura 76 - Resultados estatísticos da ferramenta RGP para 4 estações

Fonte: Elaboração própria

Observa-se com a figura 76 que o valor de *R2Adjusted* diminuiu em aproximadamente 0,09 em relação ao GWR aplicado para as 5 estações sugeridas como locais em potencial (figura 73). Esse valor representa uma queda na capacidade do modelo em representar a variação dos potenciais locais de cada setor censitário para receber estações ferroviárias.

Pode-se concluir com a exclusão da estação sugerida número 02 (Praça Raul Soares), que o modelo representa com uma confiabilidade e maior qualidade a variação do potencial de receber estações ferroviárias na região centro-sul, quando é levado em consideração a Praça Raul Soares como um dos focos desse potencial local.

A seguir serão apresentados as conclusões e reflexões finais, gerados pelo trabalho desenvolvido nessa dissertação que desperta ainda a continuidade do estudo para trabalhos futuros.

Como reflexão deste trabalho técnico partindo para um ponto de vista estratégico através também de reuniões com especialistas no transporte ferroviário brasileiro e representantes do poder público em participações à Workshops, nota-se a dificuldade do Brasil em tomar decisões relativas a investimentos em transporte de passageiros sobre trilhos. A justificativa de que o investimento inicial é maior em relação a outro tipo de modal como BRT, não apresenta coerência na comparação já que investimentos em transportes públicos de alta capacidade não devem ser analisados somente com um horizonte de 2 ou 4 anos dentro de um mandato político que é o que geralmente ocorre no Brasil. E que ainda deve-se observar mais bons exemplos como os citados nesse trabalho de países europeus, o fato de serem países notavelmente mais desenvolvidos não implica o fato da subutilização do modal ferroviário nas concentrações urbanas das cidades brasileiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão do presente trabalho é uma forma de disseminação do modal ferroviário no Brasil e certificação de como este modal acompanha o desenvolvimento técnico-científico em outros países. Nota-se também a elevada importância que este tipo de estudo recebe em países referência na Mobilidade Urbana como: Alemanha e Reino Unido.

Os resultados gerados pela ferramenta RGP, através do *software* ArcGIS comprovaram a eficiência do modelo proposto com as 11 variáveis explanatórias e que o geoprocessamento pode sim, ser mais integrado ao processo de análise e estudos de viabilidade para implantação de estações ferroviárias. Um tomador de decisão, de posse dessa ferramenta, terá uma visualização espacial dos resultados da análise e um engajamento técnico para dar prosseguimento nos estudos de escolha de locais de implantação dessas estações.

Os testes estatísticos que a ferramenta de Mínimos Quadrados Ordinários (*OLS*) retornam como resultado, comprovam a especificidade da região centro-sul de Belo Horizonte, ao analisar os coeficientes gerados para cada variável explanatória, portanto a replicação desse modelo deve ser feita com especialistas da área de estudo para uma calibração e interpretação adequada dessas variáveis.

Ainda sobre os resultados obtidos no tópico 5.4 em relação aos coeficientes da regressão *OLS* pode-se também concluir que: as variáveis de renda média mensal de 10 à 20 salários mínimos (RENDA_10^a2) e as paradas de ônibus (STP_BUS), de acordo com a Revisão Bibliográfica e Metodológicas são indicadores em potencial para o referente estudo. O fato dos referidos coeficientes terem sinais negativos produzem uma conclusão coerente com a lógica do desenvolvimento urbano, após receber interferências consideráveis. Ocorre que essas duas variáveis se migram ou concentram nas regiões de estudo após a consolidação da estação ferroviária implantada. Indicadores desse processo são:

- a) Valorização dos imóveis no entorno devido à proximidade de acesso ao modal e suas conseqüentes benfeitorias na zona de influência (RENDA_10^a2);
- b) Concentração de modais diversos para abastecer e distribuir a demanda de usuários do sistema sobre trilhos que foi implantado (STP_BUS).

Esse último item remete ainda a umas das 5 funções genéricas apresentadas no tópico 2.2, a estação ferroviária como importante elemento de um modal estruturador de mobilidade urbana.

Assim como foi explanado no tópico 2.2.1.2 o processo clássico de estudo de demanda ferroviária conhecido como modelo de 4 etapas, pode receber esse modelo de análise espacial para um refinamento na tomada de decisão, em estudos de locação de estações ferroviárias no perímetro urbano.

Pode-se concluir ainda a partir da revisão bibliográfica apresentada pelos estudos realizados na Europa, que nessa região a importância e consciência do transporte público sobre trilhos está inerente na sociedade e os respectivos governos investem fortemente na disseminação desse modal. Diferentemente do Brasil que ao analisar um estudo de viabilidade para escolha de um modal utiliza um período curto de análise e insere nos respectivos custos toda infraestrutura para avaliação do modal ferroviário. Essa última reflexão deve-se também a visitas e participações em eventos metroferroviários/mobilidade urbana com a presença de tomadores de decisão do setor público e privado.

Por fim é válido lembrar alguns potenciais qualitativos definidos a partir do modelo de análise espacial e a respectiva revisão bibliográfica para uma estação ferroviária e sua zona de influência:

- a) A zona de abrangência é a primeira experiência que o usuário terá quando se aproximar da estação ferroviária, esta experiência precisa ser marcante e positiva.
- b) Comercialmente, uma estação ferroviária bem desenvolvida e planejada afetará diretamente o preço de imóveis da região, e trará melhorias de desempenhos para empresas locais, comércios e varejistas. Funcionará ainda para atrair novos usuários e empresas para seu entorno.
- c) Socialmente pode ser desenvolvido no entorno ou interna às estações espaços que permitem benefícios comunitários: a estação ferroviária e sua zona de influência é um lugar único que recebe regularmente a presença de um grande volume de pessoas, podendo ser caracterizada como um coração social e comunitário que diariamente distribuirá esses usuários para destinos diversos.
- d) O local de implantação de uma estação ferroviária será um ponto de decisão que o usuário deverá decidir entre caminhar ao seu destino final ou por veículos mecanizados, tornando fundamental o pensamento em planejamento sustentável urbano nesse perímetro potencial, visando a redução dos impactos ambientais.

As ferramentas de geoprocessamento apresentaram-se juntamente com a análise estatística espacial um conjunto adequado para auxiliar na tomada de decisão em casos semelhantes também ao trabalho em questão. Os recursos utilizados para aplicação do método e alcance de resultados significativos de acordo com o valor de $R^2_{Adjusted}$ foram: consultas em órgãos públicos administrativos, consultas pela internet e conhecimento técnico para pesquisas e levantamento de dados. Pode-se esperar a partir desse balanço eficiente do uso das ferramentas SIG um maior investimento pelas partes interessadas como o aperfeiçoamento técnico para engenheiros, arquitetos, urbanistas e/ou geógrafos responsáveis pelo planejamento urbano de um município. E ainda por parte dos órgãos públicos uma otimização na divulgação e disponibilização dos dados georreferenciados que facilitarão o desenvolvimento de estudos e novas metodologias para solução de problemas especializáveis.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após leitura das análises e resultados do modelo de Regressão Geograficamente Ponderada, pode-se ter uma ideia do seu potencial de aplicação para Estudos de Viabilidade em implantação de estações ferroviárias. Como trabalhos futuros o modelo aplicado nesse projeto poderia ainda expandir-se no caso de Estudo de Belo Horizonte para outras regiões administrativas. A implantação de uma linha de metrô que sairia da região centro-sul até a região conhecida como “Pampulha”, após a devida coleta de dados georreferenciados e apoio técnico de especialistas poderia ser então aplicado um modelo semelhante. Os resultados obtidos serviriam de apoio para uma tomada de decisão na escolha dos locais de implantação de estações ferroviárias desse novo traçado em expansão.

A trabalhabilidade com as ferramentas de geoprocessamento assim como qualquer programa de computador deve estar sendo conduzida por especialistas que compreendem a complexidade do processo e o significado de cada variável e coeficiente. A partir de então resta uma demanda por pesquisa para construção do modelo com dados e informações georreferenciadas validadas. Para a Companhia Brasileira de Trens Urbanos os resultados gerados por esse modelo pode servir como apoio e engajamento técnico na escolha de locais para elaboração de Estudos de Viabilidade Técnico-Financeiro.

Como outra opção para trabalhos futuros é a verificação da qualidade do modelo em regiões próximas a estações ferroviárias existentes. Assim como foi apresentado no trabalho as peculiaridades de cada região devem ser consideradas, portanto será apresentado a seguir um resultado simplificado da ferramenta *GWR* para comparação de estações existentes próximas à região centro-sul.

A figura 77, destaca as estações da Lagoinha e Calafate. Essas possuem demandas médias distintas, sendo a estação Lagoinha aproximadamente o dobro da estação Calafate. Em números temos:

- 2014: Lagoinha = 16.961 pax/dia; Calafate = 8.658 pax/dia;
- 2015: Lagoinha = 15.472 pax/dia; Calafate = 7.579 pax/dia;
- 2016: Lagoinha = 14.829 pax/dia; Calafate = 7.345 pax/dia.

Como tópico de sugestão foram utilizadas variáveis explanatórias sem a discriminação de estabelecimentos como foi feito anteriormente, restando ainda um estudo mais específico das regiões do entorno que englobam outras regiões administrativas. As variáveis explanatórias utilizadas para esse *GWR* foram:

1. Renda Média Mensal;
2. Paradas de Ônibus;
3. Atividades Econômicas Registradas no CNAE;
4. Estabelecimentos de atividades culturais;
5. Densidade Demográfica;
6. Densidade de Domicílios.

O resultado permitirá comparar a qualidade do modelo, através da aleatoriedade do mapa de resíduos e valor de *R2Adjusted*, com o principal critério classificação comumente utilizado, a demanda média de usuários nas estações.

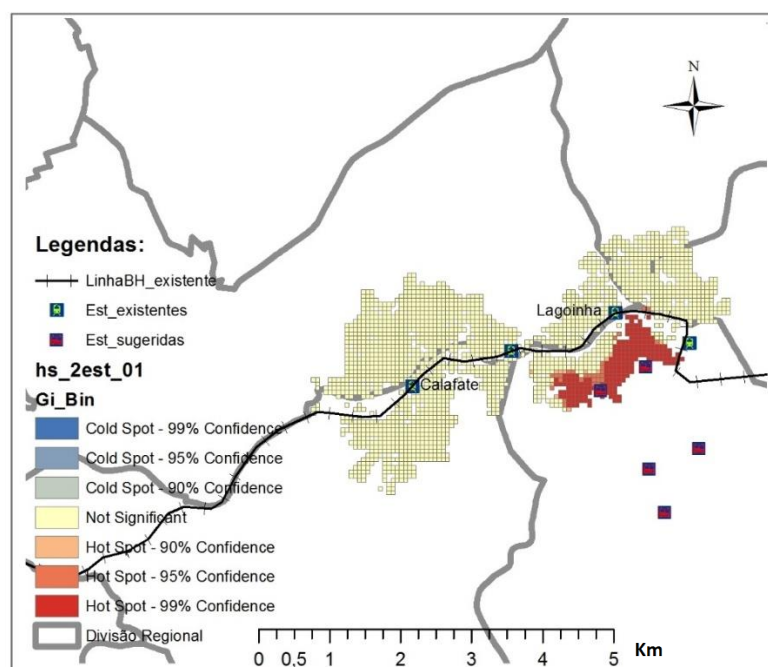


Figura 77 - Hotspot de atividades econômicas na zona de influência das estações

Fonte: Elaboração própria

Através da figura 77 pode-se ter uma análise visual de mapas gerado pela ferramenta de *Hotspots* do Arcgis e observar que próximo a região da estação Lagoinha existe uma maior concentração da variável utilizada no Hotspot. A variável em questão são todas as atividades econômicas registradas no CNAE que se encontram nas áreas de influências das respectivas estações, Calafate e Lagoinha.

A seguir será apresentado a imagem do mapa de resíduos gerado pelo GWR aplicado ao setores censitários da área de influência das estações citadas acima.

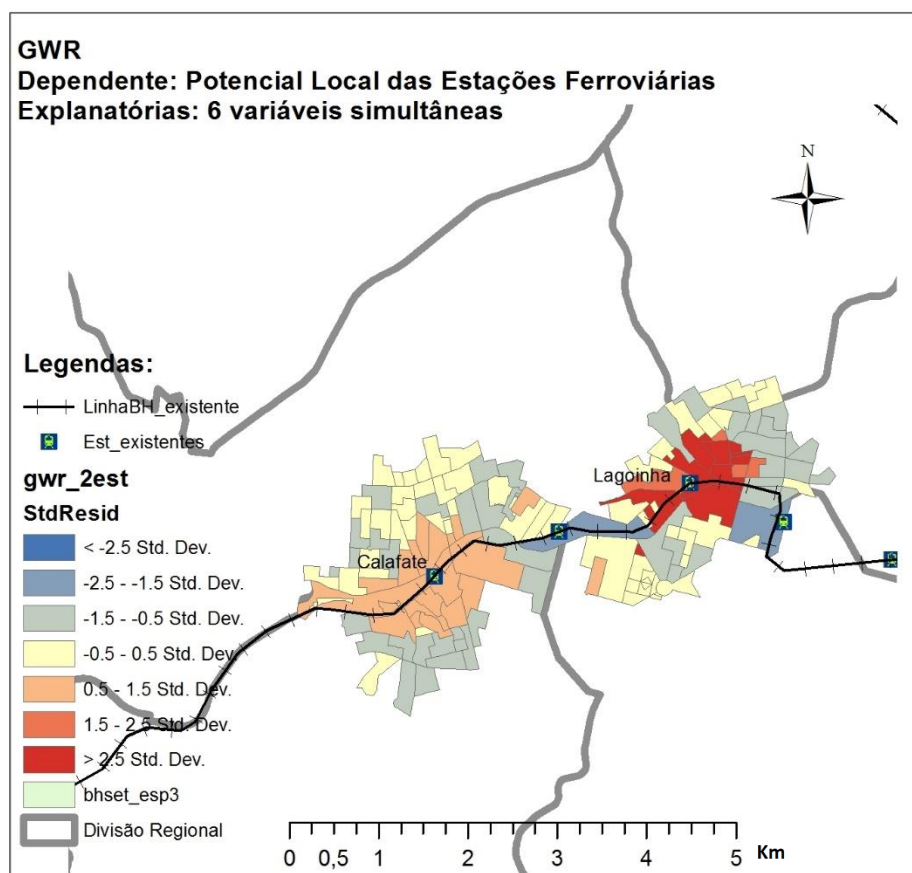


Figura 78 - RGP para duas estações existentes do metrô de BH

Fonte: Elaboração própria

A figura 78 apresenta como resultado do mapa de resíduos alguns agrupamentos que indicam a falta de variáveis explanatórias para melhor representar a variação de potencial nessas regiões. Pode-se concluir com uma rápida análise que para regiões menores deve ser feito um estudo mais minucioso e os *clusters* acima possam ser reduzidos com a subdivisão dos setores censitários.

O resultado de *R2Adjusted* para este modelo foi de 0,39, ou seja, 39% da variação do potencial local dos setores censitários destacados podem ser explicados pelas seis variáveis explanatórias. Para efeito de cálculo o potencial local na região da estação Calafate foi considerado 50% do valor do potencial local da estação Lagoinha, mesma relação entre demanda de passageiros média das estações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLINI, L. **Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands.** *Planning, Practice and Research*. 1999. No. 14. P. 199–210. <<http://rsa.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02697459915724?journalCode=cppr20#.WjfGMIVKsdU>>. Acesso em 12 Abr. 2017.

BERTOLINI, L., 1996. **Nodes and places: complexities of railway station redevelopment.** *European Planning Studies* 4 (3), 331–345. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09654319608720349>>. Acesso em 11 Mai. 2017.

BERTOLINI, L., Spit, T., 1998. **Cities on Rails: The Redevelopment of Station Areas.** Spon, London; New York. <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=KtePAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Cities+on+Rails:+The+Redevelopment+of+Station+&ot>>. Acesso em 2 Jun. 2017.

BHTRANS, Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S/A. **Relatório de paradas de ônibus georreferenciados em Belo Horizonte.** <<http://servicosbhtrans.pbh.gov.br/bhtrans/e-servicos/S43F01-extracao.asp>>. Acesso em 15 Mar. 2017.

BLACK, J.A., PAEZ, A. E SUTHANAYA, P.A. **Sustainable urban transportation: performance indicators and some analytical approaches.** *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 128, 2002, p. 184- 209.

BLAINEY, S.P., 2009. **Forecasting the Use of New Local Railway Stations and Services Using GIS,** Ph.D.thesis, University of Southampton. <https://eprints.soton.ac.uk/195357/1/Simon_Blainey_PhD_Thesis_Final_Version.pdf>. Acesso em 15 Mar. 2017.

BRUINSMA, F., Pels, E., Priemus, H., Rietveld, P., Van Wee, B. (Eds.), 2008. **Railway Development: Impacts on Urban Dynamics.** Physica-Verlag HD, Heidelberg. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9787.2009.00610_7.x/full>. Acesso em 15 Mar. 2017.

CALTHORPE, P., 1993. **The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream.** Princeton Architectural Press, New York. <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=WtKU5L0ajA8C&oi=fnd&pg=PA9&dq=he+Next+American+Metropolis:+Ecology,+Community+and+the+American+Dream&ots=Fzof3lxi7J&sig=gAFukV2L9jEzsrQqq1>>. Acesso em 12 Abr. 2017.

CARLOS F. G. LOUREIRO. 2015, **Metodologia de análise de regressão geograficamente ponderada aplicada ao fenômeno das viagens intermunicipais.** <https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Loureiro6/publication/265815597_metodologia_de_analise_de_regressao_geograficamente_ponderada_aplicada_ao_fenomeno_das_viagens_intermunicipais/.pdf> Acesso em 2 Jun. 2017.

CARVALHO, L. E. X.; Silva H. N. e Loureiro, C. F. G. (2006) **Regressão Geograficamente Ponderada em Ambiente SIG.** *Trabalho submetido ao XX*

Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, ANPET, Brasília.<
<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/65>> Acesso em 15 Mar. 2017.

CONNOLLY, K., Payne, M., 2004. **Bay area rapid transit's comprehensive station plans: integrating capacity, access, and land use planning at rail transit stations.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1872 (1), 1–9. < <http://trrjournalonline.trb.org/doi/abs/10.3141/1872-01>> Acesso em 12 Abr. 2017.

DAVIS JR, Clodoveu, OLIVEIRA, Pedro Alves. **SIG Interoperável e Distribuído para Administrações Municipais de Grande Porte.** In Informática Pública, Prodabel, ano 4, n. 1, Junho de 2002, Belo Horizonte. <http://www.ip.pbh.gov.br/ANO4_N1_PDF/ip0401davis_sig.pdf> Acesso em 2 Jun. 2017.

GARETH POWELL, 2015 - **Station public realm design guidance** / TfL Urban Design team – London, UK. <<http://content.tfl.gov.uk/station-public-realm-design-guidance.pdf>> Acesso em 14 Fev. 2017

HAI, X. & ZHAO, C. & JIANG, X. **Train Station Classification for Passenger Dedicated Line. International Journal of Advancements in Computing Technology (IJACT).** 2012. Vol. 4. No. 15. P. 328-335.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conjunto de dados em shapefile georreferenciados por setores censitários de Belo Horizonte.** <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 5 Mar. 2017.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Relatório de pesquisas espaciais de Belo Horizonte.** <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em 10 Fev. 2017.

JUCHELKA, R., 2002. **Bahn hofund Bahnhofsumfeldein Standort komplexim.**<
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00548-002-0049-5?LI=true>>. Acesso em 10 Fev. 2017.

JUHNKE, K. J. (1968) – **A eficiência das ferrovias no transporte metropolitano** – Tradução coordenada por BORBA, F. A. P. – Ed. Edgard Blucher Ltda. – S. Paulo.

KOHLSDORF, Maria Elaine; FARRET, Ricardo Libanês; GONZALES, Suely Franco Netto; HOLANDA, Frederico Rosa Borges de: **O Espaço da cidade: contribuição à análise urbana.** Oed. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1985.

KOLBEL, R., Niegl, M., Knoflacher, H., 2008. **A strategic planning methodology. Transport Policy** 15 (5), 273–282.<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X08000358>>. Acesso em 2 Jun. 2017.

LAGONEGRO, Marco Aurélio – **Metrópole sem metrô**; tese de doutoramento, FAUUSP, 2003.< <http://bv.fapesp.br/pt/bolsas/85653/a-metropole-sem-metro-o-anteprojeto-de-um-sistema-de-transporte-rapido-de-prestes-maia-1956-rodo/>> Acesso em 12 Abr. 2017.

MCBH, Mapa cultural de Belo Horizonte. **Dados georreferenciados de atividades culturais em BH.** <<http://mapaculturalbh.pbh.gov.br/busca/>>. Acesso em 5 Fev. 2017.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano.** 2ª edição. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005. p.55.<

essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/ENGEO/article/download/1656/840>. Acesso em 5 Fev. 2017.

NAHID MOHAJERI A, GHOLAM R. AMIN. **Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis**, 2010.<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521000077X>>. Acesso em 2 Jun. 2017.

OLIVEIRA, M. Piedade G., MEDEIROS, Eduardo B., DAVIS Jr., Clodoveu A. **Planning the acoustic urban environment: a GIS-centered approach**. In Proceedings of the 7th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS-99), Kansas City (MO), USA, 128-133, 1999.<<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=320166>>. Acesso em 5 Fev. 2017.

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte. **Mapa de Divisão Regional em vigor do município de BH**. <<http://geosiurbe.pbh.gov.br/webmap/>>. Acesso em 11 Jan. 2017.

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte. **Portal de dados georreferenciados do município**. <https://geodadosbh.pbh.gov.br/pre_download.php>. Acesso em 12 Jun. 2017.

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte. **Portal de indicadores socioeconômicos do município**. <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&lang=pt_br&pg=7742&tax=34222>. Acesso em 20 Jun. 2017.

PEEK, G. & Bertolini, L. **Gaining insight in development potential of station areas: A decade of Node-Place modelling in the Netherlands**. Planning, Practice and Research. 2006. Vol. 21. No. 4. P. 443-462.<<http://rsa.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02697450701296247?journalCode=cprr20#.WjflP1VKsdU>>. Acesso em 20 Jun. 2017.

PEEK, G.-J., Louw, E., 2008. **Integrated rail and land use investment as a multidisciplinary challenge**. Planning Practice and Research 23 (3), 341–361.<<http://rsa.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02697450802423591#.Wjfla1VKsdU>>. Acesso em 20 Jun. 2017.

RESENDE, L. FERREIRA, W. R. Mobilidade urbana: diferentes visões de apropriação do espaço. In: RAMIRES, J. C. L. PÊSSOA, V. L. S (Org.). **Geografia e pesquisa qualitativa: nas trilhas da investigação**. Uberlândia: Assis, 2009. <www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/16682/9560>. Acesso em 19 Abr. 2017.

REUSSER, D.E., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., Scholz, R.W., 2008. **Classifying railway stations for sustainable transitions – balancing node and place functions**. Journal of Transport Geography 16 (3), 191–202.<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692307000671>>. Acesso em 12 Abr.. 2017.

RICHARDSON, B.C. **Sustainable transport: analysis frameworks**. *Journal of Transport Geography*, vol. 13, 2005, p. 29–39.<<https://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT12-4Deal.pdf>>. Acesso em 12 Jun. 2017.

ROSS, J. (Ed.), 2000. **Railway Stations: Planning, Design and Management**. Architectural Press, Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi.<
<http://fisherfamilyfuneralhomes.com/railway-stations-planning-design-and.pdf>>.
 Acesso em 2 Jul. 2017.

RUSS HAYWOOD, 2005. **Co-ordinating Urban Development, Stations and Railway Services as a Component of Urban Sustainability: An Achievable Planning Goal** in Britain?<
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1464935042000334976>>. Acesso em 11 Jun. 2017.

SILVA, A.N.R.; COSTA, M.S.; MACEDO, M.H. **Multiple Views of Sustainable Urban Mobility in a Developing Country – The Case of Brazil**. *Proceedings of 11th World Conference on Transport Research*, WCTR, Berkeley. Anais em CD. 2007.

SILVA, E. A. M., FORTES, J. A. A. S., 2001, “**Metodologia para análise e avaliação dos impactos de terminais de integração sobre o uso do solo**”. In Anais do Congresso Latino-americano de Transporte Público y Urbano, Havana - Cuba.<
<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&-criterios-e-procedimentos-para-avaliacao-da-potencialidade-da-integracao-de-estacoes-ferroviarias&usg=AOvVaw0WW-53U2YGpe8xOveXlCT5>>. Acesso em 20 Jun. 2017.

SIMON P. BLAINEY N, John M. Preston. **A GIS-based appraisal framework for new local railway stations and services**, 2013.<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X12001722>>. Acesso em 13 Ago. 2017.

SOUZA, M. L. RODRIGUES, G. B. **Planejamento urbano e ativismos sociais**. São Paulo: UNESP, 2004.

STEFAN ZEMP A, Michael Stauffacher a, Daniel J. Lang a,b, Roland W. Scholz. **Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters!** 2011.<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692310001286>>. Acesso em 20 Ago. 2017.

STEFAN ZEMP A, N, Michael Stauffacher a, Daniel J.Lang a,b, Roland W.Scholz. **A Generic functions of railway stations — A conceptual basis for the development of common system understanding and assessment criteria**, 2011.<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X10001162>>. Acesso em 14 Abr. 2017.

STEG, L. e GIFFORD, R. **Sustainable transportation and quality of life**. *Journal of Transport Geography*, vol. 13, 2005, p. 59-69.

SUSTAINABILITY REPORT 2014. Ferroviana Italiana. **Strategy and Planning Head Office**. 2015.<
https://issuu.com/ferroviedellostatoitaliane/docs/2015_sustainability_report>. Acesso em 25 Jun. 2017.

SVETLA STOILOVA*, Radina NIKOLOVA Technical University of Sofia Boulevard Kliment Ohridski 8, Sofia, Bulgaria **CLASSIFYING RAILWAY PASSENGER STATIONS FOR USE TRANSPORT PLANNING – APPLICATION TO BULGARIAN RAILWAY NETWORK**, 2016.<

http://www.transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2016/zeszyt2/2016t11z2_14.pdf>. Acesso em 20 Jun. 2017.

VASCONCELLOS, E. A. **A cidade, o transporte e o trânsito**. São Paulo: Pro livros, 2005.< www.ijsn.es.gov.br/bibliotecaonline/Record/13248>. Acesso em 07 Jul. 2017.

VERHETSEL, A., Vanelander, T., 2010. **What location policy can bring to sustainable commuting: an empirical study in Brussels and Flanders**, Belgium Journal of Transport Geography 18 (6), 691–701. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692309001768>>. Acesso em 27 Jun. 2017.

VILLAÇA, Flávio. **Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil**, in DEAK, C e SCHIFFER, S. R. O processo de urbanização no Brasil, São Paulo, FUPAM/EDUSP, p. 169/244, 1999.

WANDEL. Standort–**Zeitschrift für angewandte Geographie** 26 (1),12–16.< <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00548-002-0049-5?LI=true>>. Acesso em 22 Jul. 2017.

WOLFF, R., 1999. **Popular Planning in King's Cross, London. Kommunikative Vernunft im Stadtentwicklungsprozess**. ETH Zurich, Zurich.< <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/144285/eth-23138-01.pdf>>. Acesso em 21 Jul. 2017.

WUCHERPFENNIG, C., 2006. **Bahnhof–(stadt) gesellschaftlicher Mikrokosmos im Wandel**. Eine neue kulturgeographische” Analyse. BIS-Verlag Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Germany.

WULFHORST, G., 2003. **Flachennutzung und Verkehrsverknüpfung an Person en bahnhöfen** –Wirkungsabschätzung mit system dynamischen Modellen. Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr ISB.RWTH Aachen, Aachen, Germany.

ANEXO A – ROTEIRO ESQUEMATICO PARA APLICAÇÃO METODOLÓGICA

FASE	ITEM	DESCRIÇÃO	
FASE PRELIMINAR	1	Estudo prévio da região	Visitas técnicas <i>in loco</i>
			Utilização dos Sistemas de Transporte
			Conhecimento das centralidades existentes
	2	Análise primária de dados geográficos disponíveis (por setor censitário de preferência)	Renda
			Densidade demográfica
			Moradias
			Outros
	3	Pesquisa de trabalhos concluídos sobre a mobilidade e planejamento urbano da região (se disponível)	Pesquisa OD
			Mapas de Densidade Construtiva
			Mapas de linhas de desejo de viagens
	4	Pesquisa de legislação vigente para uso do solo e de projetos relacionados a mobilidade urbana propostos no Plano Diretor da região	
5	Excluir locais próximos a estações existentes com o mesmo perfil de transporte		
Concluído os passos anteriores			
VARIÁVEL DEPENDENTE	6	Definição da variável dependente - Y	Inferir pontos estratégicos através de conhecimento prévio da região baseados nos passos de 1 a 5 que serão os focos de potencial, ou seja, valor de potencial = 100. O modelo de análise espacial (RGP) irá PREVER a potencialidade desses pontos em receber estações ferroviárias, através dos resultados estatísticos
	A partir dos pontos escolhidos		
	7	Gerar zonas de potencial com a ferramenta <i>Service Area</i> para cada 3 minutos de caminhada à uma velocidade de 4,5 Km/h	
	8	Selecionar setores censitários que interceptam-se com os centroides de cada zona gerada	
	9	Atribuir valor máximo (100) aos setores censitários coincidentes com a primeira zona gerada e decrescer o valor na tabela de atributos na ordem de 50% para cada zona seguinte que interceptam os respectivos setores censitários.	
	10	Observar a diminuição de valor da variável Y, na tabela de atributos para cada vez que os setores censitários se afastam dos pontos estratégicos sugeridos	

Conforme tópico 5.2.3 espacializar os 11 critérios que servirão como variáveis explanatórias			
VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS	11.1	DDEM_KM2 = densidade demográfica;	
	11.2	REDA_10 A2 = renda mensal média de pessoas que recebem de 10 à 20 salários mínimos pelo número de pessoas do setor;	
	11.3	DEN_DOMC = densidade de domicílios;	
	11.4	PQPR = praças e parques relevantes;	
	11.5	SHOOP = shoppings e centros comerciais relevantes;	
	11.6	HOSP = hospitais e centros médicos relevantes;	
	11.7	ESC = escolas e universidades relevantes;	
	11.8	GDEPOL = grandes polos de viagens pela área do setor;	
	11.9	MPCULT = estabelecimentos relativos às atividades culturais na região pela área do setor como espaços culturais, museus, cinema, escolas culturais, etc;	
	11.10	STPBUS = paradas de ônibus; OU OUTRA VARIÁVEL RELACIONADA A INTEGRAÇÃO MODAL;	
	11.11	ATV_ECON = todas as atividades econômicas registradas no município como: drogarias, supermercados, escolas, bancos, salão, academias, etc.	
CALIBRAÇÃO E RESULTADOS	12	Calibração e Verificação das Variáveis explanatórias	Aplicar Kernell e OLS isoladamente entre variável dependente Y e cada uma dos 11 critérios, verificar inconsistências. Ver tópicos 5.2.4 e 5.2.5.
	13	Aplicação do modelo RGP	Identificar resultados estatísticos como confiáveis ou não para interpretação dos pontos sugeridos como potenciais no momento da tomada de decisão.
	14	Resultado de R2Adjusted. Ver tópico 5.3	
	15	Auxílio para tomada de decisão	