

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

Isabela Kopperschmidt de Oliveira

**MODELAGEM GEOGRÁFICA E MÁXIMA ENTROPIA
PARA CONTEXTUALIZAÇÃO E PREDIÇÃO DA
LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS EM REGIÕES
METROPOLITANAS**

Belo Horizonte

2020

Isabela Kopperschmidt de Oliveira

**MODELAGEM GEOGRÁFICA E MÁXIMA ENTROPIA
PARA CONTEXTUALIZAÇÃO E PREDIÇÃO DA
LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS EM REGIÕES
METROPOLITANAS**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transporte

Orientador: Professor Rodrigo A. A. Nóbrega

Coorientadora: Professora Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte

2021

O48m

Oliveira, Isabela Kopperschmidt de.

Modelagem geográfica e máxima entropia para contextualização e predição da localização de armazéns em regiões metropolitanas [recurso eletrônico] / Isabela Kopperschmidt de Oliveira. – 2021.

1 recurso online (203 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.

Coorientadora: Leise Kelli de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 191-203.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Transportes - Teses. 2. Planejamento urbano - Teses.
3. Armazenamento e transporte de cargas – Teses. 4. Método de entropia máxima – Teses. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Oliveira, Leise Kelli de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE Mestrado em Geotecnia e Transportes

FOLHA DE APROVAÇÃO

MODELAGEM GEOGRÁFICA E MÁXIMA ENTROPIA PARA CONTEXTUALIZAÇÃO E PREDIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS EM REGIÕES METROPOLITANAS

ISABELA KOPPERSCHMIDT DE OLIVEIRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 17 de fevereiro de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega - Orientador
UFMG

Prof.ª. Leise Kelli de Oliveira - Coorientadora
UFMG

Prof. José Alberto Quintanilha
USP

Prof.ª. Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense
UFT

Prof. Bruno Vieira Bertoncini
UFC

Belo Horizonte, 17 de fevereiro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Leise Kelli de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 17/02/2021, às 17:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega, Professor do Magistério Superior**, em 17/02/2021, às 18:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no



art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Vieira Bertoncini, Usuário Externo**, em 17/02/2021, às 18:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lílian dos Santos Fontes Pereira Bracarense, Usuário Externo**, em 17/02/2021, às 18:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Alberto Quintanilha, Usuário Externo**, em 17/02/2021, às 18:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0542159** e o código CRC **EB42E99C**.

AGRADECIMENTOS

O caminho até a construção deste trabalho não foi fácil, no entanto esta dissertação apareceu para mim como um presente em vários sentidos da minha vida. Foi a partir dela que eu pude conhecer pessoas que eu considero como verdadeiros presentes que a vida me trouxe e as quais eu quero levar para minha vida inteira. Gostaria de agradecer ao meu orientador Rodrigo pela paciência e pela disponibilidade em sempre me ajudar quando eu necessitei, me ajudando imensamente a construir este trabalho ao qual me orgulho tanto, pois me foi completamente novo aprender a trabalhar com modelagem espacial. Agradeço também a minha co-orientadora Leise pelos seus infinitos ensinamentos que me ajudaram a descobrir o tipo de pesquisadora que eu quero me tornar. Agradeço a minha mãe, Marianne pela sua paciência, o apoio e o suporte para que eu pudesse seguir meus sonhos. As minhas irmãs Marina e Beatriz, muito obrigada pelo apoio e suporte em tudo, sempre. Ao meu avô Schmidt por sua calma e sabedoria durante esse período. Também merece um agradecimento especial minha amiga Ana Luiza, que tanto me escutou, mesmo de tão longe. E por fim, muito obrigado aos meus amigos Mateus, Fernanda, Luís e Lucas, que nesse momento tão louco foram luz e suporte. A todos vocês, muito obrigada.

RESUMO

OLIVEIRA, Isabela Kopperschmidt de. **Modelagem Geográfica e Máxima Entropia Para Contextualização e Predição da Localização de Armazéns em Regiões Metropolitanas**. 203f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

O transporte urbano de cargas (TUC) têm impacto direto no cotidiano das cidades. Ele é o responsável por abastecer desde as atividades mais essenciais até as mais complexas, ademais abastece nossas residências. Entretanto, esta atividade é acompanhada de uma série de externalidades negativas como o aumento de congestionamentos, o aumento da emissão de CO₂ assim como os níveis de ruído e vibrações no ambiente urbano, piorando a qualidade do meio ambiente. Dada importância dessa atividade no cotidiano das pessoas é de se esperar que a mesma esteja inserida na agenda dos gestores públicos, entretanto não é essa a realidade. O TUC possui pouca ou quase nenhuma menção nos Planos Diretores municipais, o que demonstra o desconhecimento do fenômeno e a necessidade de se investigar o fenômeno. Na forma da investigação da localização dos Armazéns Logísticos (ALs) na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), esta dissertação tem como objetivo analisar como fatores utilizados no planejamento urbano podem contribuir para instalação de armazéns logísticos e assim identificar os potenciais locais em que podem ser localizados armazéns logísticos para auxiliar na introdução do transporte urbano de cargas no planejamento urbano. Para tanto este trabalho utilizou a Modelagem de Máxima Entropia (MME) para obter a representação cartográfica dos potenciais locais onde os ALs se localizam na RMBH. É uma modelagem estatística probabilística de *machine learning* que utiliza dos conceitos de entropia para desenvolver sua formulação matemática e construir esse modelo com base na nos pontos de localização geográfica do fenômeno e fatores que expliquem o fenômeno, representados de maneira especializada. Seus resultados, além da representação cartográfica com a probabilidade de localização dos ALs no território da RMBH, forneceram curvas responsivas para todos os fatores utilizados na modelagem, com seu efeito marginal para o fator analisado de maneira isolada e no contexto do modelo, que em conjunto com os gráficos de barras de *jackknife*, permitiram compreender como os fatores influenciam na localização dos ALs. Foram elaborados oito modelos distintos, para avaliar melhor as diferentes interações entre os fatores. Os modelos tinham como objetivo comprovar as seguintes hipóteses: (i) os armazéns logísticos tendem a formar aglomerações em um território metropolitano; (ii) os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos ao mercado consumidores; (iii) os armazéns logísticos

tendem a se localizarem próximos aos embarcadores; (iv) os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos à infraestrutura de transporte local; (v) os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos à infraestrutura de transporte regional; (vi) os armazéns logísticos tendem a se localizarem nas áreas urbanas. As seis hipóteses foram comprovadas e os modelos foram validados em função de sua curva ROC (*Receiver Operator Characteristic*) e o valor de AUC (*Area Under the Curve*), sendo que todos os modelos puderam ser considerados válidos.

Palavras-Chaves: transporte urbano de cargas; armazéns; máxima entropia; modelagem geográfica; planejamento urbano

ABSTRACT

OLIVEIRA, Isabela Kopperschmidt de. **Modelagem Geográfica e Máxima Entropia Para Contextualização e Predição da Localização de Armazéns em Regiões Metropolitanas**. 203f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

Urban freight transport (UFT) has a direct impact on our daily lives. It is responsible for supplying from the most essential to the most complex activities. However, this activity comes with a series of negative externalities such as the increase of congestion, CO₂ emissions, noise and vibration levels in the urban environment. Given the importance of this activity in people's daily lives, we must expect that UFT should be considered in the agenda of public managers. However, this is not the reality. The UFT has little or no mention in the Municipal Master Plans, which demonstrates the unawareness of the phenomenon, and the need to investigate it. Investigating the warehouse location in the Metropolitan Region of Belo Horizonte (BHMR), this dissertation aims to analyze how factors used in urban planning can contribute to the installation of logistics warehouses and thus identify the potential places where warehouses should be located to assist in the introduction of urban cargo transport in urban planning. For this purpose, this work used the Maximum Entropy Modeling (MEM) to obtain the cartographic representation of the potential locations where the warehouses have the potential to be located in the RMBH. It is a probabilistic statistical machine learning model that uses the concepts of entropy to develop its mathematical formulation and build this model based on the points of the geographical location of the phenomenon and factors that explain the phenomenon, represented in a specialized way. Its results, in addition to the cartographic representation with the probability of localization of warehouses in the BHMR territory, provided responsive curves for all factors used in the modeling, with their marginal effect for the factor analyzed in isolation and in the context of the model, which together with the jackknife bar graphs, it was possible to understand how the factors influence the location of the warehouses. Eight different models were developed to better assess the different interactions between the factors. The models aimed to prove the following hypotheses: (i) the logistics warehouses tend to form agglomerations in a metropolitan territory; (ii) logistics warehouses tend to be located close to the consumer market; (iii) logistics warehouses tend to be located close to shippers; (iv) logistics warehouses tend to be located close to the local transport infrastructure; (v) logistics warehouses tend to be located close to the regional transport infrastructure; (vi) logistics warehouses tend to be located in urban areas. The six hypotheses were proven, and the models were validated according to

their ROC curve (Receiver Operator Characteristic) and the value of AUC (Area Under the Curve), and all models could be considered valid.

Keywords: urban freight transportation, warehouse, maximum entropy, geographical model, urban planning

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Visão Sistêmica do TUC (Fonte: Adaptado de Woudsma, 2001).....	25
Figura 2.2 : Expectativas e metas dos <i>stakeholders</i> envolvidos no processo de tomada de decisão do planejamento do TUC (Elaborado a partir de Kiba-Janiak, 2019)	27
Figura 2.3: Esquema dos níveis de planejamento estratégico no âmbito da logística urbana (Fonte: Kiba-Janiak, 2019)	29
Figura 5.1: Fluxograma dos procedimentos de pesquisa	55
Figura 5.2: Fluxograma de obtenção e preparação dos dados da localização dos ALs	56
Figura 5.3: Rotina para remoção de pontos duplicados	57
Figura 5.4: Fluxograma de obtenção e preparação dos fatores para a modelagem no MAXENT	59
Figura 5.5: Rotina do R para padronização e conversão para o formato ASCII dos fatores ...	61
Figura 5.6: Rotina do R para obtenção do Índice Moran I	62
Figura 5.7: Fatores considerados nos modelos estimados	63
Figura 5.8: Rotina para cálculo do VIF sem estabelecer limite de valor de colinearidade.....	64
Figura 5.9: Rotina para cálculo do VIF estabelecendo limite para valor de colinearidade	64
Figura 5.10: Interface de configurações de modelagem do MAXENT	65
Figura 5.11: Exemplo de curva ROC idealizada (Fonte: Jiménez-Valverde, 2012 - Adaptado)	66
Figura 5.12: Relação entre hipóteses de estudo e bases cartográficas para verificação das hipóteses.....	67
Figura 6.1: Projeto Urbanístico de Belo Horizonte. (Fonte: Adaptado de Jorgensen Jr (2013))	70
Figura 6.2: Construção do espaço da RMBH	73
Figura 6.3: Mapa aéreo da RMBH (Fonte: Openstreetmap Foundation - Maio, 2020).....	73
Figura 6.4: PIB, 2015 (Fonte de dados: IPEA, 2020).....	74
Figura 6.5: PIB <i>per capita</i> , 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020).....	74
Figura 6.6: População Total, 2016 (Fonte de dados: IPEA, 2020)	75
Figura 6.7: População Urbana, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020).....	75
Figura 6.8: IDHM, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020)	76
Figura 6.9: IVS, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020).....	76

Figura 6.10: Municípios que possuem diretrizes específicas para abrigar Armazéns Logísticos na RMBH.....	81
Figura 6.11: Municípios que possuem diretrizes para o transporte urbano de cargas em suas diretrizes para elaboração do Plano de Mobilidade na RMBH.....	83
Figura 6.12: Setor econômico que possui maior contribuição no PIB do município	84
Figura 7.1: Representação espacial dos ALs utilizados na modelagem	86
Figura 7.2: Fator "Atividade" e Índice de Moran Bivariado.....	87
Figura 7.3: Fator "Densidade Populacional" e Índice de Moran Bivariado.....	88
Figura 7.4: Fator "Empregos" e Índice de Moran Bivariado	89
Figura 7.5: Fator "PIB <i>per capita</i> " e Índice de Moran Bivariado.....	89
Figura 7.6: Fator "Renda" e Índice de Moran Bivariado	90
Figura 7.7: Fator "IDHM" e Índice de Moran Bivariado.....	91
Figura 7.8: Fator "População" e Índice de Moran Bivariado.....	91
Figura 7.9: Fator "Esgotamento Sanitário" e Índice de Moran Bivariado	92
Figura 7.10: Fator "Taxa de Urbanização" e Índice de Moran Bivariado	93
Figura 7.11: Fator "Mancha Urbana" e Índice de Moran Bivariado.....	94
Figura 7.12: Fator "Comércio" e Índice de Moran Bivariado.....	94
Figura 7.13: Fator "Indústria" e Índice de Moran Bivariado	95
Figura 7.14: Fator "Mineração" e Índice de Moran Bivariado	95
Figura 7.15: Fator "Ruas" e Índice de Moran Bivariado	96
Figura 7.16: Fator "Rodovias" e Índice de Moran Bivariado	97
Figura 7.17: Fator "Ferrovias" e Índice de Moran Bivariado	98
Figura 7.18: Fator "Dutovias" e Índice de Moran Bivariado	98
Figura 7.19: Fator "Aeródromos" e Índice de Moran Bivariado	99
Figura 7.20: Fator "Declividade" e Índice de Moran Bivariado	100
Figura 7.21: Resultados do modelo 01	102
Figura 7.22: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 01	103
Figura 7.23: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 01	103
Figura 7.24: Curva ROC e omissões do modelo 01.....	105
Figura 7.25: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 01.....	106
Figura 7.26: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 01	106
Figura 7.27: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 01.....	107
Figura 7.28: Curvas responsivas do fator "População" para o modelo 01.....	107
Figura 7.29: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 01.....	108

Figura 7.30: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 01	108
Figura 7.31:: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 01	109
Figura 7.32: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 01	109
Figura 7.33: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 01	110
Figura 7.34: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 01	110
Figura 7.35: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 01	111
Figura 7.36: Curvas responsivas do fator "PIB <i>per capita</i> " para o modelo 01	111
Figura 7.37: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 01	112
Figura 7.38: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 01	113
Figura 7.39: Curvas responsivas do fator "Declividade" para o modelo 01	113
Figura 7.40: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 01	114
Figura 7.41: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 01	114
Figura 7.42: Curvas responsivas do fator "Ferrovia" para o modelo 01	115
Figura 7.43: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 01	115
Figura 7.44: Resultados do modelo 02	118
Figura 7.45: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 02	119
Figura 7.46: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 02	119
Figura 7.47: Curva ROC e omissões do modelo 02	120
Figura 7.48: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 02	121
Figura 7.49: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 02	121
Figura 7.50: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 02	121
Figura 7.51: Curvas responsivas do fator "População" para o modelo 02	122
Figura 7.52: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 02	122
Figura 7.53: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 02	122
Figura 7.54: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 02	123
Figura 7.55: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 02	123
Figura 7.56: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 02	124
Figura 7.57: : Curvas responsivas do fator "Declividade" para o modelo 02	124
Figura 7.58: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 02	124
Figura 7.59: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 02	125
Figura 7.60: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 02	125
Figura 7.61: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 02	125
Figura 7.62: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 02	126
Figura 7.63: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 02	126

Figura 7.64: Curvas responsivas do fator "PIB <i>per capita</i> " para o modelo 02.....	127
Figura 7.65: Resultados MME do modelo 03	128
Figura 7.66: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 03	129
Figura 7.67: <i>Jackknife</i> do AUC do Modelo 03	130
Figura 7.68: Curva ROC e omissões do modelo 03.....	131
Figura 7.69: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 03.....	131
Figura 7.70: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 03	131
Figura 7.71: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 03.....	132
Figura 7.72: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 03.....	132
Figura 7.73: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 03	133
Figura 7.74: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 03	133
Figura 7.75: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 03	133
Figura 7.76: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 03	134
Figura 7.77: Resultados MME do modelo 04.....	135
Figura 7.78: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 04	136
Figura 7.79: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 04	136
Figura 7.80: Curva ROC e omissões do modelo 04.....	137
Figura 7.81: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 04	137
Figura 7.82: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 04	138
Figura 7.83: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 04.....	138
Figura 7.84: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 04	138
Figura 7.85: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 04	139
Figura 7.86: Resultados MME do modelo 05	140
Figura 7.87: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 05	141
Figura 7.88: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 05	141
Figura 7.89: Curva ROC e omissões do modelo 05.....	142
Figura 7.90: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 05.....	142
Figura 7.91: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 05	143
Figura 7.92: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 05	143
Figura 7.93: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 05	143
Figura 7.94: : Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 05	143
Figura 7.95: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 05	144
Figura 7.96: Resultados MME do modelo 06.....	145
Figura 7.97: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 06	146

Figura 7.98: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 06	146
Figura 7.99: Curva ROC e omissões do modelo 06.....	147
Figura 7.100: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 06.....	147
Figura 7.101: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 06.....	148
Figura 7.102: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 06	148
Figura 7.103: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 06	148
Figura 7.104: Resultados MME do modelo 07	150
Figura 7.105: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 07	151
Figura 7.106: <i>Jackknife</i> do ganho do AUC do modelo 07.....	151
Figura 7.107: Curva ROC e omissões do modelo 07.....	152
Figura 7.108: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 07.....	152
Figura 7.109: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 07	153
Figura 7.110: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 07	153
Figura 7.111: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 07	154
Figura 7.112: Curvas responsivas do fator "PIB <i>per capita</i> " para o modelo 07.....	154
Figura 7.113: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 07	154
Figura 7.114: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 07.....	155
Figura 7.115: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 07.....	155
Figura 7.116: Resultados do modelo 08	156
Figura 7.117: <i>Jackknife</i> do ganho do modelo 08	157
Figura 7.118: <i>Jackknife</i> do AUC do modelo 08	158
Figura 7.119: Curva ROC e omissões do modelo 08.....	158
Figura 7.120: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 08.....	159
Figura 7.121: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 08.....	159
Figura 7.122: : Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 08.....	160
Figura 7.123: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 08	160
Figura 7.124: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 08	160
Figura 7.125: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 08.....	161
Figura 7.126: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 08	161
Figura 7.127: Curvas responsivas do fator "PIB <i>per capita</i> " para o modelo 08.....	162
Figura 7.128: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 08.....	162
Figura 7.129: Resultados dos Modelos de Máxima Entropia	164
Figura 7.130: Verificação da hipótese (i): os ALs tendem a formar aglomerações.	168

Figura 7.131: Verificação da hipótese (ii): os ALs tendem a se localizar próximos aos consumidores	169
Figura 7.132: Verificação da hipótese (iii): os ALs tendem a se localizar próximos aos embarcadores	171
Figura 7.133: Verificação da hipótese (iv): os ALs tendem a se localizarem próximos as infraestruturas de transporte.....	172
Figura 7.134: Verificação da hipótese (v): os ALs tendem a se localizarem próximos a rede de transporte regional	174
Figura 7.135: Verificação da hipótese (vi): os ALs se localizam nas áreas urbanas	175
Figura 8.1: Resultado do modelo 02 para a região 01	178
Figura 8.2: Resultado do modelo 02 para a região 01 com ALs e sistema viário urbano	180
Figura 8.3: Resultado do modelo 02 para a região 02	181
Figura 8.4: Resultado do modelo 02 para a região 02 com ALs e sistema viário urbano	181
Figura 8.5: Resultado do modelo 02 para a região 03	182
Figura 8.6: Resultado do modelo 02 para a região 03 com ALs e sistema viário urbano	183
Figura 8.7: Resultado do modelo 02 para a região 04	184
Figura 8.8: Resultado do modelo 02 para a região 04 com ALs e sistema viário urbano	184
Figura 8.9: Resultado do modelo 02 para a região 05	185
Figura 8.10: Resultado do modelo 02 para a região 05 com ALs e sistema viário urbano ...	186
Figura 8.11: Resultado do modelo 02 para a região 06	187
Figura 8.12: Resultado do modelo 02 para a região 06 com ALs e sistema viário urbano ...	187

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Fatores que influenciam no espriamento logístico (Fonte: Adaptado de Jaller <i>et al.</i> , 2017)	32
Tabela 3.1: Critérios quantitativos e qualitativos utilizados no processo de escolha do local de instalação dos ALs (Fonte: Adaptado de Ivanov <i>et al.</i> , 2019)	42
Tabela 3.2: Resumo dos principais critérios utilizados no Planejamento Urbano e no processo de escolha da localização de ALs.....	45
Tabela 5.1: Modelo do arquivo csv a ser inserido no MAXENT	56
Tabela 5.2: Fatores utilizados na modelagem	58
Tabela 7.1: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 01	100
Tabela 7.2: Contribuição dos fatores na composição do modelo 01	104
Tabela 7.3: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 02	117
Tabela 7.4: Contribuição dos fatores na composição do modelo 02.....	119
Tabela 7.5: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 03	128
Tabela 7.6: Contribuição dos fatores na composição do modelo 03.....	130
Tabela 7.7: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 04	134
Tabela 7.8: Contribuição dos fatores na composição do modelo 04.....	136
Tabela 7.9: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 05	139
Tabela 7.10: Contribuição dos fatores na composição do modelo 05.....	141
Tabela 7.11: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 06	144
Tabela 7.12: Contribuição dos fatores na contribuição do modelo 06.....	146
Tabela 7.13: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 07	149
Tabela 7.14: Contribuição dos fatores na composição do modelo 07.....	151
Tabela 7.15: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 08	156
Tabela 7.16: Contribuição dos fatores na composição do modelo 08.....	158
Tabela 7.17: Ordem de contribuição dos fatores comparados dos 8 cenários	166
Tabela 7.18: Comparação do AUC médio dos 8 modelos	166
Tabela 7.19: Resumo dos modelos.....	167
Tabela 8.1: Resumo das diretrizes sugeridas para RMBH.....	188

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AL	Armazém Logístico
AMNH	<i>American Museum of Natural History</i>
AUC	<i>Area Under the Curve</i>
CM	Constituição Mineira
CRMBR	Colar da Região Metropolitana de Belo Horizonte
EFCB	Estrada de Ferro Central do Brasil
FDM	Fundo de Desenvolvimento Metropolitano
FDP	Função Densidade Probabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IU	Infraestrutura Urbana
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
LC	Lei Complementar
MF	Características do Meio Físico
MME	Modelo de Máxima Entropia
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PDDI	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado
PIB	Produto Interno Bruto
Plambel	Planejamento da Região Metropolitana
PLC	Projeto de Lei Complementar
RM	Região Metropolitana
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
ROC	<i>Receiver Operator Characteristic</i>
SO	Características Socioeconômicas
ST	Sistema de Transporte
TUC	Transporte Urbano de Cargas
US	Uso do Solo
VC	Veículo de Carga
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>

SUMÁRIO

1	<i>INTRODUÇÃO</i>	18
2	<i>ARMAZÉNS LOGÍSTICOS E O TUC</i>	25
2.1	Dinâmica do transporte urbano de cargas.....	25
2.2	Fenômenos associados aos Armazéns Logísticos em território urbano	30
2.3	Espraiamento Logístico: quando a busca pela produtividade ultrapassa as fronteiras dos municípios.....	31
2.3.1	As vantagens de uma metrópole: a formação de economias de aglomeração	34
3	<i>TOMADA DE DECISÃO NO ÂMBITO URBANO: CRITÉRIOS PARA LOCAÇÃO DE PROJETOS URBANOS E OS ARMAZÉNS LOGÍSTICOS</i>	37
3.1	Tomada de decisão no âmbito do TUC: critérios de localização de armazéns.....	40
3.2	Critérios comuns ao planejamento urbano e ao transporte urbano de cargas	44
4	<i>O Modelo de Máxima Entropia e sua utilização no contexto geográfico</i>	47
5	<i>PROCEDIMENTOS DO MÉTODO DE PESQUISA</i>	55
5.1	Preparação dos dados de entrada	56
5.1.1	Obtenção e preparação dos pontos de ocorrência do fenômeno estudado.....	56
5.1.2	Obtenção e preparação dos fatores.....	57
5.2	Verificação da correlação espacial.....	61
5.3	Definição dos modelos	62
5.3.1	Verificação da colinearidade.....	63
5.3.2	Estimação do MME do Modelo de Máxima Entropia (MME).....	64
5.3.3	Verificação da acurácia do MME	65
5.3.4	Verificação das hipóteses de estudo.....	67
5.4	Diretrizes para elaboração de políticas públicas	68
6	<i>ÁREA DE ESTUDO: A REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE</i>	69
6.1	Do surgimento de sua metrópole à construção de um espaço fragmentado	69
6.2	O arcabouço institucional da metrópole	76
6.3	Os Planos Diretores Municipais e sua relação com o Transporte Urbano de Cargas .	80
6.4	O Plano Diretor Metropolitano (PDDI) e suas diretrizes para o TUC.....	84

7	RESULTADOS E DISCUSSÕES: DOS FATORES DE MODELAGEM AOS	
	MODELOS	86
7.1	Fenômeno, fatores de modelagem e correlação espacial.....	86
7.1.1	Distribuição espacial do fenômeno	86
7.1.2	Fatores de modelagem e correlação espacial	87
7.2	Resultados e análises dos modelos estimados.....	100
7.2.1	Modelo 01	100
7.2.2	Modelo 02	117
7.2.3	Modelo 03	127
7.2.4	Modelo 04	134
7.2.5	Modelo 05	139
7.2.6	Modelo 06	144
7.2.7	Modelo 07	149
7.2.8	Modelo 08	156
7.2.9	Considerações preliminares considerando os resultados estimados dos modelos	162
7.3	Comparação dos modelos	163
8	APLICAÇÃO DOS RESULTADOS PARA PROPOSIÇÃO DE POLÍTICAS	
	PÚBLICAS PARA O TUC	
	177
9	CONCLUSÕES	190

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 70 anos a população residente em núcleos urbanos aumentou em mais de 7 vezes (UN, 2019) e, as projeções que constam no relatório anual da Organização das Nações Unidas (ONU) estimam que em 30 anos esse número deve triplicar. O aumento populacional em áreas urbanas traz consigo aumento na demanda por infraestrutura urbana e aumento na demanda de mercadorias que circulam pelas cidades (Oliveira *et al.*, 2017). O desenvolvimento econômico e tecnológico das cidades passou, então, a estar interconectado com o bom funcionamento da rede logística de distribuição estabelecida em seu território (Tadić *et al.*, 2015). Não só o funcionamento eficiente dessa rede logística contribui para o crescimento econômico, ele também permite melhoria na qualidade de vida ao reduzir as emissões de gases estufas, reduzir os congestionamentos e reduzir a poluição visual e sonora.

As mercadorias ocupam um importante papel na qualidade de vida das áreas urbanas, visto que, sem elas, não existem comércio, escritórios, restaurantes (Lindholm, 2013). É o transporte urbano de cargas (TUC) que garante que as mercadorias saiam das indústrias e cheguem ao seu destino final. Dablanc (2009) identificou que, em geral, uma cidade gera 0,1 entregas por pessoa por dia, 1 entrega por trabalho por semana, entre 300 e 400 viagens de caminhão a cada 1000 pessoas por dia e entre 30 e 50 toneladas de mercadorias por pessoa por ano. A carga urbana representa entre 10 e 15% das viagens realizadas em áreas urbanas e essa atividade emprega até 5% da força de trabalho e, além disso, as instalações logísticas ocupam entre 3 e 5% do espaço urbano. Considerando essas métricas, é inegável a importância que a distribuição urbana para as cidades, pois além de ser indispensável para a economia dos centros urbanos, o TUC também ocupa papel de destaque na dinâmica da cidade, pois é responsável por uma importante fração das viagens realizadas no perímetro urbano.

O TUC é resultado da interação entre as decisões tomadas em âmbito empresarial – capacidade de produção, economia, demanda, entre outros – com a distribuição espacial das instalações produtoras e receptoras de mercadoria, com o sistema logístico da empresa e com a regulamentação urbana (Tadić *et al.*, 2015). Essa atividade ocorre independentemente da infraestrutura ofertada pela cidade, com impactos que se estendem por toda a área urbana se não for considerada no planejamento da infraestrutura urbana. O TUC contribui negativamente com a quantidade de veículos por quilômetro de via, tendo impacto direto na fluidez do trânsito,

além do impacto ambiental e econômico (Tadić *et al.*, 2015). Estes impactos são denominados externalidades do TUC (Oliveira *et al.*, 2019).

Em face das crescentes externalidades negativas do TUC, alguns municípios têm se preocupado em regulamentar o fluxo de veículos de carga e as operações de carga/descarga na via pública. Em sua maioria, a postura do poder público é restringir o acesso dos veículos de carga (VC), pois em geral eles são vistos como indesejados no meio urbano (Tadić *et al.*, 2015). Assim, as medidas adotadas para o TUC têm um caráter restritivo, que o torna menos sustentável (Allen *et al.*, 2000; Dablanc, 2007; Quak, 2008; Quak & de Koster, 2009; Holguín-Veras *et al.*, 2011; Ballantyne *et al.*, 2013). Ademais, a complexidade do TUC não é normalmente entendida pelos gestores públicos (Tadić *et al.*, 2015).

Os armazéns são infraestruturas fundamentais para o TUC, pois influenciam diretamente nas características das viagens. Os armazéns logísticos (ALs) são os nós que interligam o centro produtor de mercadorias com o mercado consumidor. Contudo, a interação entre os ALs e o contexto espaço-temporal urbano mantém lacunas para investigação na literatura, principalmente no tocante da função da administração pública no processo de localização de ALs, uma vez que existe um pré-entendimento de que o TUC e, principalmente, o processo de localização de ALs não é de responsabilidade pública.

Dablanc (2007) afirma que o TUC é influenciado pela vocação econômica e pela extensão territorial da cidade, o que não significa que a forma urbana não influencia no TUC. Alguns estudos comprovaram que a densidade populacional, a morfologia urbana, o uso do solo e a hierarquia urbana influenciam nas singularidades do TUC em cada espaço urbano (Allen *et al.*, 2000; Dablanc, 2007; Lindholm, 2013). Assim, é importante incluir o processo de localização de armazéns no planejamento urbano, pois sua inserção no espaço pode modificar a dinâmica urbana na forma do TUC.

As regiões em que os ALs estão instalados apresentam, em geral, altos níveis de congestionamento e, por serem, edificações de grande porte apresentam baixa densidade de empregos (Cidell, 2011) Entretanto, representam oportunidades de empregos e um potencial de aquecimento econômico para a região onde se instalam. Assim, entender os locais que são mais prováveis para instalação de ALs, no contexto metropolitano, é fundamental para o direcionamento de recursos públicos de infraestrutura, tanto para mitigar as externalidades da

atividade logística como para fomentar o desenvolvimento regional, sendo este o fenômeno analisado nesta dissertação.

Em relação ao método, a utilização de técnicas de modelagem com base na estrutura geográfica não é nova para o planejamento de transportes. Dentre das aplicações da modelagem geográfica pode-se citá-la como fonte de dados (Chen *et al.*, 2011), para a priorização de infraestruturas a serem construídas utilizando ao método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Stich *et al.*, 2011; Beiler & Treat, 2014), em estudos de viabilidade (Ferreira Jr *et al.*, 2016; Nóbrega *et al.*, 2016; Leon *et al.*, 2020), para avaliação de acessibilidade de pedestres (Foda & Osman, 2010), para redistribuição dos pontos de ônibus de maneira a otimizar os modos de transporte em questão (Delmelle *et al.*, 2012) e de sistemas de bicicletas compartilhadas (García-Palomares *et al.*, 2012). A utilização da modelagem geográfica também tem sido utilizada no contexto do planejamento urbano, sendo que todos os trabalhos apontados *a posteriori* também a utilizam para compreender, modelar e embasar políticas públicas, no âmbito do planejamento urbano.

Em relação ao transporte de carga, as principais aplicações da modelagem espacial são concentradas na eficiência das rotas realizadas pelos veículos de carga (Xu *et al.*, 2011). Entretanto, a grande parte dos modelos não utilizam o contexto geográfico, ficando restrito a abordagens matemáticas e técnicas computacionais. No âmbito do TUC, a modelagem matemática tem sido utilizada principalmente para identificar o espraiamento urbano, que em sua maioria identificam *clusters*, dimensões da elipse, deslocamento do centroide de instalações logísticas e alguns realizam análises econométricas, a exemplo dos trabalhos de Heitz & Dablanc (2015) para Paris, Kang (2018b) para Detroit e Jaller *et al.* (2017) para a Califórnia.

Em suma, pode-se dizer que a modelagem geográfica tem sido utilizada, em sua maioria, para realizar diagnósticos e elaborar indicadores. Elas também são combinadas com técnicas de análise multicritério para embasar a tomada de decisão, principalmente no âmbito do planejamento urbano (Nijkamp *et al.*, 1990; Coutinho-Rodrigues *et al.*, 2011; Orea, 2002), sendo poucas as aplicações para o planejamento de transporte (Tsamboulas *et al.*, 1999; Karleuša *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2018; Farooq *et al.*, 2019). Conforme mencionado o contexto geográfico aplicado ao TUC, em especial aos ALs, tem sido retratado na literatura apenas, em estudos de espraiamento logístico.

Para este trabalho, a análise geográfica será associada com a formulação de Máxima Entropia (ME). A formulação de ME consiste na utilização de dados de um estado (ou condição) de um sistema, não totalmente detalhado (caótico), para estimar um estado futuro ordenado. A técnica parte do princípio que as condições presentes desse sistema influenciam em suas características futuras. Assim, parte-se da hipótese que a análise geográfica associada com a ME pode ser uma interessante ferramenta para compreender a instalação dos ALs no território metropolitano, pois os dados que explicam esse fenômeno são, por vezes, caóticos, mas nem por isso deixam de representar o fenômeno. No entanto, é necessário ressaltar, que este estudo tem como principal limitação a obtenção de dados georreferenciados, sendo este um problema muito ligado a realidade brasileira, e que se agrava na RMBH por possuir municípios muito distintos, o que torna a coleta de dados com o mesmo nível de detalhamento um desafio.

Para este trabalho, são propostas as seguintes questões de pesquisa:

- É possível utilizar indicadores do planejamento urbano para explicar a localização de armazéns logísticos em regiões metropolitanas?
- Como os indicadores do planejamento urbano podem influenciar no processo de escolha dos armazéns logísticos em territórios metropolitanos?
- É possível identificar potenciais locais para localização de armazéns logísticos a partir da técnica escolhida?
- A utilização da análise espacial baseada na máxima entropia pode servir de suporte para o planejamento urbano?

Com base nos trabalhos utilizados como referência nesta dissertação foram elaboradas as seguintes hipóteses:

- i. os armazéns logísticos tendem a formar aglomerações em um território metropolitano;
- ii. os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos ao mercado consumidor;
- iii. os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos aos fornecedores;
- iv. os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos à infraestrutura de transporte local;
- v. os armazéns logísticos tendem a se localizarem próximos à infraestrutura de transporte regional;
- vi. os armazéns logísticos tendem a se localizarem nas áreas urbanas;

Esta dissertação de mestrado está fundamentada em três justificativas que embora independentes, se complementam: [1] o tema central do estudo, [2] o caráter inovador da técnica proposta e [3] a inserção social da pesquisa e seu impacto na sociedade. Com relação ao tema da pesquisa, o TUC ocupa papel relevante na dinâmica urbana, pois além de ser essencial para o abastecimento das cidades e suas atividades, traz consigo uma série de externalidades positivas e negativas, fatores que o fazem vital o planejamento urbano. Entretanto, de acordo com Lindholm (2013), não é essa a realidade observada, visto que o TUC é apenas vagamente mencionado nos planos de transportes, e no contexto brasileiro é obrigatório sua inserção nos Planos de Mobilidade. Por sua relevância no cotidiano das pessoas, é fundamental que essa atividade seja inserida no planejamento urbano para aumentar a competitividade das empresas ao reduzir o custo de transporte e também suas externalidades negativas. Além disso, o espraioamento logístico é um fenômeno ao qual a administração pública deve estar atenta para assim, prevenir a fragmentação do tecido urbano e poder direcionar recursos para infraestrutura em locais mais adequados à esta finalidade. Sendo que a localização dos ALs de maneira dispersa no território metropolitano é a manifestação física do espraioamento logístico, ter uma ferramenta que possibilite aos gestores públicos identificar os potenciais locais em que essas estruturas tendem a se localizar facilita a inclusão do TUC no planejamento urbano contribuindo assim com a redução de vazios urbanos, e aproveitar ao máximo a infraestrutura instalada otimizando a utilização de recursos públicos.

Quanto ao caráter inovador, o procedimento metodológico proposto emprega análise espacial baseada na máxima entropia, modelo que permitir identificar locais com características atrativas e potencial elevado para instalação de novos armazéns logísticos. Conforme mencionado anteriormente, até o fechamento desta dissertação, não se observou trabalhos aplicando a análise espacial baseada na máxima entropia no TUC.

Por último, e não menos importante, esse trabalho tem o potencial para auxiliar os processos de tomada de decisão no âmbito do planejamento urbano e no planejamento de transportes metropolitano. Sua replicabilidade é possível para qualquer fenômeno urbano que tenha sua localização conhecida, para qualquer unidade de planejamento, desde que se obtenha os indicadores que descrevam o fenômeno especializados para a área que se deseja conhecer o fenômeno. Com isso, é possível planejar cidades mais sustentáveis, que aproveitam ao máximo os recursos a serem investidos pela administração e a infraestrutura existente.

Para tanto, o objetivo dessa dissertação é analisar como indicadores utilizados no planejamento urbano podem contribuir para instalação de armazéns logísticos e assim identificar os potenciais locais em que podem ser localizados armazéns logísticos para auxiliar na introdução do transporte urbano de cargas no planejamento urbano. Para isso, foi utilizada a técnica de máxima entropia definida por Philips *et al.* (2006), que utiliza dos princípios da formulação da máxima entropia em um contexto geográfico. Para alcançar este objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar bases de dados secundário que suportem a análise de fenômenos relacionados ao transporte urbano de cargas;
- Identificar os fatores que influenciam na localização de armazéns logísticos;
- Demonstrar como os fatores influenciam no fenômeno de localização de ALs e seus impactos na estimação de um modelo de probabilidade de localização de armazéns;
- Mostrar que o modelo de máxima entropia geográfico pode ser utilizado para analisar fenômenos de planejamento urbano e de transporte;
- Elaborar diretrizes de planejamento regional e local para o modelo com melhor resultado.

Essa dissertação conta com 9 seções. A primeira (presente) descreve uma breve contextualização sobre o transporte urbano de cargas, como os ALs se inserem no TUC, a justificativa desse trabalho e seus objetivos. A segunda seção conta com uma revisão bibliográfica acerca do TUC, ALs e a relação deles com a habitabilidade de uma região. A terceira seção conta com revisão sistemática da literatura sobre os fatores a serem usados na modelagem no que toca o planejamento urbano sob o ponto de vista do gestor público e a localização de ALs sob o ponto de vista empresarial. A quarta seção discorre sucintamente sobre o modelo de máxima entropia, aqui utilizado como ferramenta para descrever o fenômeno de localização de armazéns logísticos e obter os possíveis locais de sua localização. A quinta seção detalha os passos de pesquisa enquanto a sexta seção traça um panorama que subsidia os resultados sobre a área de estudo: a Região Metropolitana de Belo Horizonte. A sétima seção traz os resultados obtidos nesta dissertação e as discussões dos mesmos. A oitava seção traz a proposição de como este modelo pode ser aplicado para direcionar políticas públicas e a nona seção traz as conclusões principais de maneira reiterada que já haviam sido discutidas nas

últimas duas seções anteriores, além de trazer a proposição de trabalhos futuros e limitações deste estudo.

2 ARMAZÉNS LOGÍSTICOS E O TUC

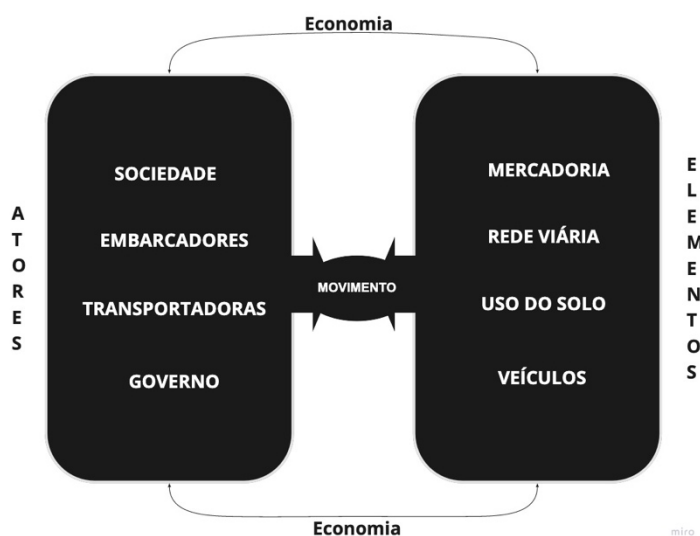
Essa seção apresenta a revisão da literatura sobre como os ALs tem sido considerado no TUC, abordando aspectos do espraçamento logístico e sua importância na cadeia de suprimento.

2.1 Dinâmica do transporte urbano de cargas

O TUC não tem tido a mesma atenção que os estudos acerca do transporte urbano de passageiros, principalmente no que se refere a análises geográficas (Allen *et al.*, 2000). Ele pode ser compreendido como a manifestação física da atividade econômica uma vez que muitas transações financeiras resultam em um fluxo de mercadoria com origem e destino, sendo assim, o TUC é resultado das interações dos agentes e infraestruturas que são necessários para que ocorra tal atividade (Holguín-Veras & Jaller, 2014).

A complexidade do TUC surge da interação entre os diversos atores com os diferentes elementos que compõem o sistema. Os atores correspondem ao grupo de pessoas cuja decisão afeta direta ou indiretamente nas características do movimento. Os elementos são os aspectos físicos do movimento como a natureza do produto, o tipo de veículo utilizado, a infraestrutura viária e o uso do solo. Os atores e os elementos influenciam e são influenciados pela economia. Essa visão sistêmica do TUC, sugerida por Woudsma (2001), está apresentada na Figura 2.1.

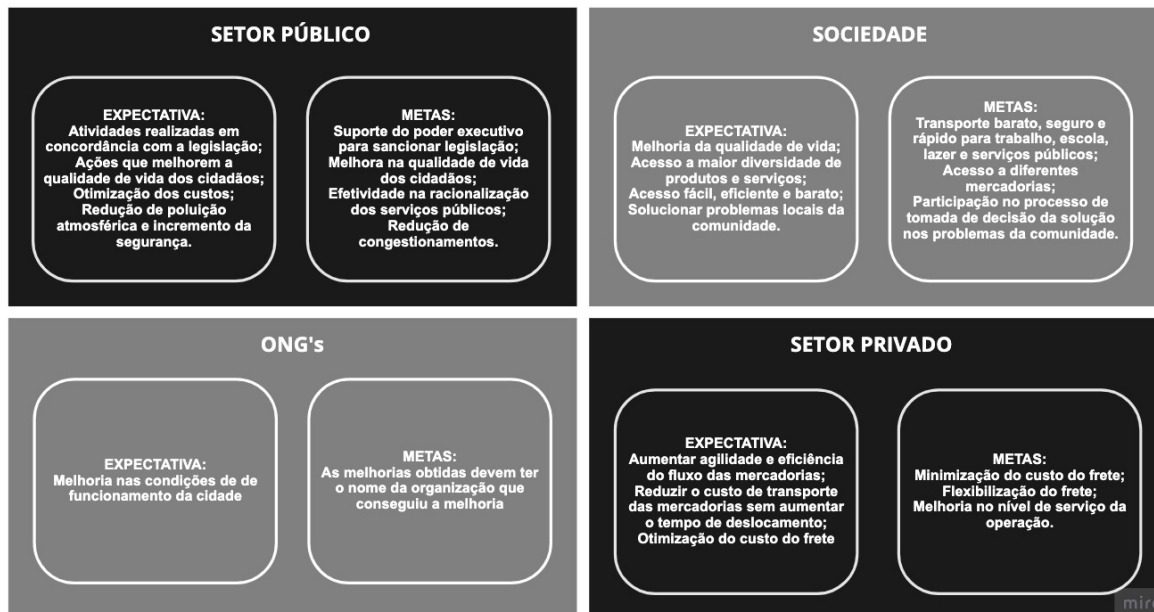
Figura 2.1: Visão Sistêmica do TUC (Fonte: Adaptado de Woudsma, 2001)



Os principais atores envolvidos no TUC são os indivíduos, as indústrias, as transportadoras e o governo. Os embarcadores representam o mercado produtor e desejam que suas mercadorias sejam entregues aos seus clientes ao menor custo possível e no prazo combinado. É importante para os embarcadores um sistema logístico eficiente para reduzir seus custos operacionais e tornar seu produto mais competitivo, e isso inclui a qualidade das vias, a diversidade da matriz modal e a tecnologia dos veículos de carga. As transportadoras necessitam da infraestrutura viária para transportar os produtos com eficiência e das áreas de carga e descarga para descarregar os produtos de maneira eficiente, sem perdas, maximizando a operação (Ballantyne *et al.*, 2013). Ao governo, a eficiência logística significa maior competitividade das empresas, e com isso, maior desenvolvimento econômico. Observa-se que cada ator possui um objetivo específica e por muitas vezes esses objetivos são conflituosos. Kiba-Janiak (2019) apresenta quatro classes agentes que devem estar envolvidos no processo de planejamento do TUC, e cada um deles possui diferentes expectativas e diferentes metas, conforme mostra a Figura 2.2. Essas classes de *stakeholders* são:

- Setor público: composto pelos representantes de todas as esferas de poder do governo (legislativo, executivo e judiciário), órgãos de planejamento (secretarias, departamentos de planejamento, setores de operação e tecnologia da informação, entre outros);
- Setor privado: embarcadores de mercadorias, receptores de mercadorias, transportadoras, produtores de veículos e tecnologia;
- Sociedade: organizada na forma de associações de bairro, consumidores ou turistas ou não organizada;
- Organizações Não Governamentais (ONG's).

Figura 2.2 : Expectativas e metas dos *stakeholders* envolvidos no processo de tomada de decisão do planejamento do TUC (Elaborado a partir de Kiba-Janiak, 2019)



Mesmo o TUC sendo responsável por movimentar milhões de dólares por ano e por aquecer a economia e desenvolver economicamente as comunidades, é também responsável por uma série de externalidade negativas (Dablanc, 2007). Williams e Carrol (2015) compilaram os principais conflitos entre o TUC e a qualidade de vida, e revelaram as principais externalidades do TUC. Estas externalidades são:

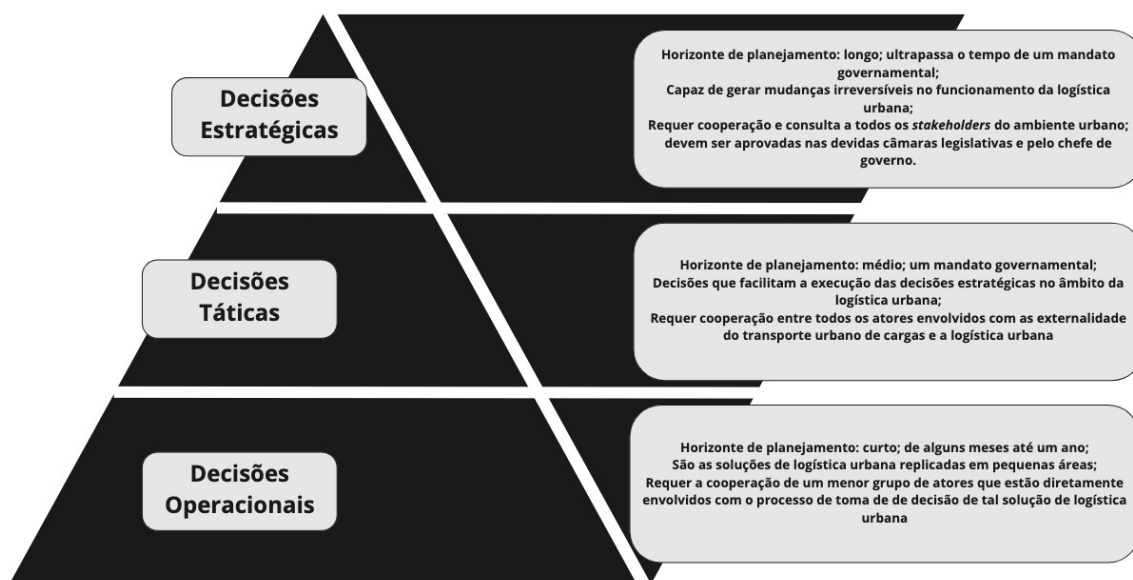
- congestionamentos: o aumento da circulação de veículos de carga pode provocar congestionamentos, com isso ocorre o aumento no preço do frete, impactando o poder de compra da população (Dablanc, 2009; Lindholm, 2012);
- emissão de poluentes: os veículos de carga emitem, quantidade significativa, gases que impactam negativamente na qualidade do ar, provocando perda da qualidade ambiental e gerando problemas de saúde pública (Anderson *et al.*, 2005; Dablanc, 2013; Ambrosino, 2015);
- problemas relacionados ao estacionamento e as operações de carga e descarga: é comum que, no planejamento urbano e de transporte, não se reserve áreas específicas para a operação de carga e descarga, sendo que essa omissão provoca três principais consequências:
 - os veículos circulam na área urbana por mais tempo em busca de vagas, aumentando os congestionamentos e as emissões de gases estufa;

- os motoristas, por muitas vezes, são forçados a estacionarem distantes dos locais onde as entregas devem ser realizadas, forçando os carregadores a transportarem a mercadoria, colocando em risco a saúde dos mesmos e aumentando o tempo de entrega;
- os motoristas acabam por estacionar em locais indevidos que cria, além de congestionamentos, condições inseguras de circulação para os outros usuários da via, tornando o ambiente propício para acidentes (Lindholm, 2012);
- efeitos negativos no ambiente: os veículos de carga, principalmente os mais antigos, aumentam os níveis de ruído e trazem consigo vibrações indesejadas, e por vezes aromas indesejados oriundos da queima dos combustíveis fósseis (Lindholm, 2012; Ballantyne *et al.*, 2013);
- conflitos intermodais: em função do grande porte dos veículos de carga, a circulação de pedestres e ciclistas se torna um problema. O conceito de habitabilidade traz consigo a noção de multimodalidade e priorização de ciclistas e pedestres, o que torna o traçado das ruas desconfortável aos veículos de carga, principalmente os de maior porte; e
- conflitos de interesses nas políticas públicas: pelo fato de o TUC ser tratado pela administração pública como algo que deve ser evitado, sendo a ele imposto restrições de circulação sem oferecer nenhum benefício aos envolvidos diretamente na atividade, as empresas se veem forçadas a internalizarem o aumento do custo de transporte, que por consequência é repassado ao consumidor (Dablanc, 2009).

Odgen (1992) apontou seis vertentes a serem consideradas no planejamento do TUC. A primeira delas é a econômica, que busca melhorar o sistema de carga com o intuito de desenvolver economicamente a região a nível local, regional e nacional. A segunda é a eficiência, que busca minimizar ou reduzir custos relacionados a re-roteirização, energia e as atividades do final da rota como carga/descarga e estacionamento. A terceira se relaciona com a segurança viária, em que se busca reduzir os danos causados por acidentes envolvendo os veículos de carga. A quarta vertente é a ambiental, cujo foco é reduzir os impactos como poluição do ar, visual e sonora que os veículos de carga produzem. A quinta envolve a gestão da infraestrutura urbana, que envolve a regulamentação do espaço, controle de preços, taxas cobradas e investimentos a serem realizados no setor. Por último, há a vertente que envolve a estrutura urbana, a qual estuda a interação entre a estrutura da cidade e as estruturas ligadas aos fretes urbanos. Para o mesmo autor, esses seis elementos, quando bem planejados, constituem o cenário ideal para o transporte de cargas em áreas urbanas.

Ainda, Crainic e Laporte (1997) elencaram os elementos operacionais do TUC em três níveis de planejamento: o nível estratégico que visa resultados a longo prazo e inclui melhorias no sistema viário, localização das instalações logísticas e planejamento de um sistema multimodal regional de transporte; o nível tático com resultados a serem observados a um prazo médio, incluindo diretrizes como nível de serviço da via, roteirização e otimização do serviço; e o nível operacional, que envolve as decisões que devem ser tomadas diariamente para o bom funcionamento do sistema do TUC. Kiba-Janiak (2019) também considera esses três níveis de planejamento do TUC numa visão holística do mesmo, conforme ilustrado na Figura 2.3.

Figura 2.3: Esquema dos níveis de planejamento estratégico no âmbito da logística urbana (Fonte: Kiba-Janiak, 2019)



miro

Neste contexto, os ALs representam parte da infraestrutura do TUC que interliga o centro produtor com o centro consumidor. É por meio dos ALs que as empresas podem ganhar vantagem competitiva, quando localizados estrategicamente. Os ALs além de serem fundamentais do ponto de vista organizacional, são fonte de empregos e impulsionam a economia local, propiciando o desenvolvimento econômico da região (Dablanc, 2007). Eles são estruturas de grande porte e demandam espaço para o tráfego dos veículos de carga e para as operações de carga e descarga (Woudsma & Jensen, 2005). Por isso o custo da terra é relevante na escolha do local onde os ALs são instalados (Chen *et al.*, 2018). Por se tratar de um nó

logístico, a acessibilidade a grandes vias de escoamento como rodovias e ferrovias é fundamental para os ALs. Assim, estar localizado próximo a essas infraestruturas representa uma vantagem competitiva à empresa (Hansen, 1956). Além da proximidade às vias de transporte, os ALs devem possuir capacidade de escoamento e boas condições para o transporte de mercadorias e trabalhadores (Hong *et al.*, 2011; Hou & Li, 2011; Ng *et al.*, 2017).

Visto que os ALs possuem demandas estruturais por parte do local em que se instalarão, e que sua instalação traz consigo consequências positivas e negativas, é papel da administração pública regular a localização dessas estruturas (He *et al.*, 2018). Por meio do zoneamento urbano, os municípios podem prevenir e orientar o espraiamento urbano e estimular a concentração dos ALs em zonas logísticas (Li *et al.*, 2017). O agrupamento espacial de ALs resulta em vantagem competitiva, posto que em geral em suas imediações se concentra mão de obra e fatores que implicam na redução dos custos de transporte pelo fato de poderem compartilhar a infraestrutura e a proximidade com outros ALs (van der Hauvel *et al.*, 2013). Também é por meio do zoneamento urbano que a administração pode realocar a circulação de veículos de carga na cidade, reduzindo congestionamentos e as externalidades negativas do TUC próximo a áreas (Li *et al.*, 2017). Por fim, o planejamento adequado do zoneamento urbano com a inclusão do TUC em suas diretrizes propicia a locação de investimentos em infraestrutura adequada aos ALs como vias, instalações elétricas e saneamento básico (Rivera *et al.*, 2016).

2.2 Fenômenos associados aos Armazéns Logísticos em território urbano

É possível identificar três tipos de fenômenos urbanos associados à localização de ALs: a polarização de instalações logísticas nas metrópoles, a localização de armazéns logísticos ao redor da área conturbada das metrópoles e o espraiamento logístico (Dablanc *et al.*, 2018). O espraiamento logístico pode ser definido como a descentralização de instalações logísticas em regiões metropolitanas (Cidell, 2011; Dablanc & Ross, 2012). Nesta subseção será detalhado os dois últimos fenômenos, uma vez que esta dissetação já foca no território metropolitano, justamente pela polarização das instalações logísticas em regiões metropolitanas.

2.3 Espreadimento Logístico: quando a busca pela produtividade ultrapassa as fronteiras dos municípios

As últimas décadas foram marcadas pelo aumento do volume de mercadorias transportadas, e esse fluxo deve ser feito no menor tempo e menor custo possível (Kang, 2018b). Por isso, atualmente, existem mais ALs que há algumas décadas atrás (Dablanc *et al.*, 2018) e os mesmos se encontram geograficamente dispersos (Kang, 2018b), em sua maioria em espaços metropolitanos. Além disso, existem evidências de relação positiva do aumento do número de ALs com a importância regional do *hub* logístico. Outro fator que contribuiu para o aumento do número de ALs foi o incremento da demanda B2C (*businesses to commerce*) impulsionado pelas ferramentas digitais (Dablanc *et al.*, 2018).

A mudança geográfica dos ALs não diz respeito apenas a mudanças no padrão do uso do solo da metrópole, implica também em mudanças sobre como os espaços metropolitanos se conectam (Dablanc *et al.*, 2018). Como fato, percebe-se que essas estruturas “buscam se localizar” nos subúrbios das metrópoles, ou seja, fora da metrópole principal, com fácil acesso (Bowen Jr, 2008), pois nesses locais há disponibilidade de terra para expansão das atividades e o custo da terra é menor, se comparado a metrópole (Kang, 2018a). O crescente número de ALs nas metrópoles foi caracterizado por plantas maiores, que buscaram lotes com menores preços, preferencialmente nas áreas conurbadas das metrópoles, por possuírem as características de menor preço da terra, acompanhada de acessibilidade de infraestrutura e, em alguns casos, com incentivos financeiros (Dablanc *et al.*, 2018).

As regiões metropolitanas são locais atrativos para a localização dos armazéns logísticos pois possuem densa rede de transporte, potencial mercado consumidor e mão de obra próxima as suas instalações (Hesse, 2008; Heitz *et al.*, 2018). Mesmo espaços metropolitanos tendo maiores preços de loteamentos que espaços não metropolitanos, assim como maiores custos oriundos de congestionamentos, as vantagens por se localizar próximo às atividades econômicas e aos centros urbanos mais dinâmicos compensam os pontos negativos (Heitz & Dablanc, 2015). Se por um lado o entorno da metrópole apresenta condições propícias à instalação de ALs, por outro lado a região central, onde ocorrem renovações urbanas, a presença dos ALs não é desejada (Williams & Carrol, 2015) posto que o centro se torna mais atrativo para os deslocamentos de pessoas, em um processo de busca pela restauração da vitalidade urbana (Gehl, 2010).

O espraiamento logístico é um fenômeno tanto de relocação como de concentração de instalações logísticas nas áreas adjacentes aos centros das cidades (Dablanc & Rakotonarivo, 2010; Dablanc & Ross, 2012), em especial fora das metrópoles, mas nos municípios contidos em sua mancha urbana resultante do processo de conurbação (Dablanc *et al.*, 2018). Como consequências do espraiamento logístico, os armazéns se concentram em regiões com menor adensamento populacional, reduzindo o tráfego de caminhões das regiões centrais as externalidades associadas a este tráfego como emissões de poluentes e ruídos em regiões onde há grande concentração de pessoas (Wagner, 2010; Dablanc *et al.*, 2018). Entretanto, as externalidades negativas como ruído, congestionamentos e poluição são deslocados para outros locais, se tornando problemas a nível regional (Hesse, 2006; Mckinnon, 2009). Por outro lado, ocorre a migração dos empregos e desenvolvimento econômico para a região em que se instalam (Wagner, 2010), ao mesmo tempo que extingue postos de trabalho no centro metropolitano (Strale, 2019). Outra consequência do espraiamento logístico é o aumento das distâncias a serem percorridas até o consumidor final, representando desafios a nível regional, não apenas local (Kang, 2020).

Jaller *et al.* (2017) compilaram os fatores que determinam o espraiamento logístico, listados na Tabela 2.1. Desse estudo, os mesmos autores concluíram que a acessibilidade a rodovias e a intermodalidade são relevantes no que concerne a instalação de ALs, e que os *clusters* logísticos se beneficiam dos serviços oferecidos para as indústrias.

Tabela 2.1: Fatores que influenciam no espraiamento logístico (Fonte: Adaptado de Jaller *et al.*, 2017)

Fator	Definição	Se relaciona com:
Disponibilidade de espaço para expansão	Área que pode ser adquirida ou convertida para intensificar as atividades do AL, sendo esse fator afetado pelo zoneamento local	Flexibilidade para expansão do negócio
Número de entradas de docas	Número de docas	Quantidade de docas apropriada para o tamanho da operação
Proximidade de rodovias	A distância em km entre o AL e a rodovia, e o tempo gasto nesse percurso	Proporcionar acesso fácil aos caminhões

Fator	Definição	Se relaciona com:
Disponibilidade de transporte público	A distância em km entre o AL e o sistema de transporte público, e o tempo gasto nesse percurso	Proporcionar acesso fácil aos trabalhadores
Acessibilidade para veículos longos	Dimensões apropriadas para deslocamento e manobra de veículos longos	Infraestrutura disponível aos operadores para utilizarem veículos de maiores dimensões
Proximidade de aeroportos	A distância em km entre o AL e aeroportos, e o tempo gasto nesse percurso	Vantagem competitiva de envio de mercadorias com menor custo de transporte
Proximidade de portos	A distância em km entre o AL e portos, e o tempo gasto nesse percurso	Vantagem competitiva de envio de mercadorias com menor custo de transporte
Proximidade de terminais intermodais	A distância em km entre o AL e terminais intermodais, e o tempo gasto nesse percurso	Vantagem competitiva de envio de mercadorias com menor custo de transporte
Possibilidade operar 24/7	Habilidade para adaptar produção à demanda	Maior controle da operação
Área de estacionamento para caminhões	Área para estacionamento fora das dependências do AL	Redução do tamanho da planta do AL
Sistemas de telecomunicações	Existência de sistema de comunicação entre AL, consumidores e fornecedores	O local deve possuir acesso de qualidade aos serviços de telecomunicação para proporcionar a comunicação eficiente
Qualidade e confiabilidade dos modos de transporte	Qualidade do serviço de transporte entre AL, consumidores e fornecedores	Capacidade de realizar as entregas no local certo e sem avarias no produto
Acessibilidade ao consumidor	Distância e tempo necessários para acessar o consumidor	Permitir entregas dentro do prazo
Acessibilidade ao fornecedor	Distância e tempo necessários para obter mercadorias do fornecedor	Reduzir a distância percorrida e o tempo dispendido em transporte
Potencial mercado consumidor na área de entorno	Potencial da população do entorno do AL se tornar consumidor	Maximizar a penetração no mercado na área de entorno do AL
Poder de compra da população	Renda da população do entorno do AL	Maximizar a penetração no mercado na área de entorno do AL

Fator	Definição	Se relaciona com:
Distância do competidor ao mercado consumidor	Distância do competidor ao mercado consumidor	Vantagem competitiva
Mão de obra qualificada	Disponibilidade de força de trabalho qualificada, nas proximidades do AL	Mão de obra necessária
Disponibilidade de mão de obra não qualificada	Disponibilidade de força de trabalho que deve ser treinada, nas proximidades do AL	Caso necessite de mais mão de obra que a já treinada
Ambiente propício para desenvolvimento de novos negócios	Incentivos oferecidos pelas municipalidades que atraem novos negócios	Reduzir custos e ter mais controle sobre as operações
Zoneamento e plano de desenvolvimento urbano	Legislação e projetos de desenvolvimento	Garantir que a legislação e a visão que a municipalidade tem para o território estejam de acordo com as características do AL
Custo da terra e taxas	Custos operacionais	Reduzir custos operacionais
Proximidade a negócios semelhantes	Formação de <i>hubs</i> logísticos	Reduzir custos
Custo da mão de obra	Custo com salários, uniformes, etc	Custos operacionais
Custo do transporte	Custos com combustível, equipamentos, etc	Custo de transporte
Custo de armazenagem	Custo para armazenar mercadoria	Custos operacionais

A identificação do espraiamento logístico é um movimento recente e crescente na literatura. Esse fenômeno já foi analisado para Toronto (Canadá), Gotemburgo (Suíça), Atlanta (EUA), Los Angeles (EUA), Paris (França), Tóquio (Japão), Palmas (Brasil) e Belo Horizonte (Brasil) (Dablanc & Rakotonarivo, 2010; Dablanc & Ross, 2012; Dablanc *et al.*, 2014; Bacarense *et al.*, 2015; Sakai *et al.*, 2016; Woudsuma *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2017; Heitz *et al.*, 2018). Sousa e Oliveira (2020) apresentam uma breve descrição dos estudos identificados na literatura. A investigação dos fatores que contribuem com o espraiamento logístico pode ser fator decisivo para um melhor planejamento da localização dos ALs.

2.3.1 As vantagens de uma metrópole: a formação de economias de aglomeração

Uma consequência relevante trazida pelo processo de globalização foi a viabilização do comércio de longa distância, impulsionado pelo desenvolvimento de tecnologias da informação

e estratégias empresariais globais (Sanfelici, 2016). Existem evidências que retratam a expansão horizontal das atividades econômicas por um conjunto de cidades adjacentes, constituindo nessa aglomeração polos de integração global (Amin & Thrift, 1992; Scott, 1998; Sassen, 2000). Esse crescimento fica claro em trabalhos como de Sassen (2000) e de Soja (2013).

Alguns autores afirmam que as metrópoles adquirem uma vantagem cumulativa das economias de aglomeração (Scott & Storper, 2003; Bathlet *et al.*, 2004; Pecqueur, 2009). Os municípios integrantes das economias de aglomeração gozam de: compartilhamento de infraestrutura física de alto custo, interdependência entre empresas semelhantes, um mercado de trabalho denso, especializado e diverso, um ambiente propício ao fluxo de ideias e inovações (Sanfelici, 2016). Assim, uma vez consolidadas essas regiões o processo de aglomeração tende a ganhar força, uma vez que adquirem a vantagem competitiva (Sanfelici, 2016). Esses espaços tendem a se tornar polos especializados e a ganhar relevância global, criando as cidades globais (Sassen, 2000) ou *posmetropolis* (Soja, 2013).

Os armazéns logísticos seguem a mesma lógica das aglomerações empresariais e industriais. Conforme Tabela 2.1 elaborada por Jaller *et al.* (2017), percebe-se que a proximidade de fornecedores, a disponibilidade de mão de obra, a disponibilidade e qualidade de infraestrutura e a acessibilidade ao sistema de transportes são fatores importantes no processo de escolha do local de implantação de um AL. Essa lógica permite entender que, para os ALs, as aglomerações também representam uma vantagem competitiva, pelos mesmos motivos que são para as indústrias (van der Hauvel, *et al.*, 2013).

O Modelo de Máxima Entropia (MME) proposto como abordagem metodológica nessa dissertação permite identificar o padrão de localização de ALs no território escolhido para estudo. Como o território em questão corresponde a uma Região Metropolitana (RM), é esperado que as características de espraiamento logístico na área de estudo possam ser identificadas nesse modelo, sendo que eles inclusive são parte fundamental das hipóteses ii, iii, iv e v desse trabalho, que se baseiam na Tabela 2.1. O modelo também permite identificar a formação de aglomerações, pois os ALs também tendem a se localizarem próximos uns aos outros, pois podem compartilhar de melhores condições de infraestrutura e se beneficiarem dessa proximidade física conforme detalhado no item 2.3.1. Assim, o modelo proposto não só deve proporcionar uma ferramenta que possibilite compreender melhor o fenômeno de

espraiamento logístico a partir de uma ótica ainda não explorada, como também deve ser capaz de embasar políticas públicas. Esta dissertação explora a união de fatores utilizados no planejamento urbano com fatores necessários para a implantação de ALs sob o ponto de vista corporativo e os une em um modelo isento da subjetividade da atribuição de pesos, de modelos clássicos como AHP, e que é capaz de identificar o padrão de ocorrência do fenômeno e de fornecer projeções de sua ocorrência.

3 TOMADA DE DECISÃO NO ÂMBITO URBANO: CRITÉRIOS PARA LOCAÇÃO DE PROJETOS URBANOS E OS ARMAZÉNS LOGÍSTICOS

As grandes cidades modernas podem ser compreendidas como um sistema complexo que abrigam uma significativa ocupação populacional, uma complexa rede de mobilidade incluindo diversos modos de transporte, um robusto sistema de comunicação e uma variedade de serviços e utilidades (Neirotti *et al.*, 2014). Essa complexidade é acompanhada de diversos conflitos de ordem técnica, social, organizacional e econômica, sendo que os interesses de desenvolvimento econômico tendem a se sobreporem, interferindo na habitabilidade das cidades (Washburn & Sindhu, 2010). Esse espaço também é marcado por desigualdades sociais e organizacionais que afetam negativamente na desigualdade e na saúde de seus residentes (Kim & Han, 2012), o que força a administração pública a recorrerem a soluções inovadoras para evitarem o colapso do sistema (Carli *et al.*, 2017).

O crescimento do tecido urbano é um processo complexo e tem se tornado tópico relevante nas pesquisas, não só para compreender o fenômeno como também para buscar como a expansão deve ser feita (Kalnay & Cai, 2003; Pielke, 2005; Shu *et al.*, 2017). O processo de expansão urbana tem sido tratado por alguns autores como um processo de alocação de recursos (Wu & Webster, 1998; Triantakou, 2011), que por sua vez são limitados e devem atender aos diferentes interesses políticos, as características sociais e culturais, bem como as características físicas da cidade e acessibilidade da população (Shu *et al.*, 2017).

Com o intuito de investigar os diversos fatores utilizados no planejamento do espaço urbano, por meio de uma revisão sistemática da literatura e utilizando os termos de busca “*multicriteria decision making*” + “*urban planning*”, foram identificados 950 trabalhos na plataforma de busca Google Acadêmico – por incluir outras bases de dados em sua plataforma de busca -, dos quais foram selecionados 15 artigos com base nos propósitos desta dissertação. Os artigos selecionados tratam de instalação de bairros residenciais, de implantação de linhas de ônibus, de aprimoramento de espaços para pedestres, todos sob a perspectiva do poder público. Desses artigos foram identificados os grupos de critérios mais recorrentes sendo eles: acessibilidade ao sistema de transporte, uso e ocupação do solo, disponibilidade de terra, características do meio físico, características do meio ambiente, existência de áreas protegidas, segurança, características socioeconômicas, preço da terra, serviços de utilidade pública e infraestrutura

urbana. O resultado dessa investigação pode ser observado no Quadro 3.1, em que os artigos selecionados estão nas linhas e nas colunas estão os respectivos grupos de fatores que cada trabalho retrata em sua modelagem multicritério e o tipo de empreendimento que cada trabalho desejava investigar.

Quadro 3.1: Revisão sistemática da literatura para identificação de fatores utilizados para tomada de decisão no âmbito do planejamento urbano

Referências	Grupo												
	Accessibilidade/ Sistema de Transporte	Uso e ocupação do solo	Disponibilidade de Terra	Características do Meio Físico	Meio Ambiente	Área Protegida	Segurança	Características Socioeconômicas	Preço da Terra	Serviços de Utilidade Pública	Infraestrutura Urbana	Outros	Tipo do Empreendimento
Arabsheibani <i>et al.</i> , 2016	x	x		x		x			x	x	x		I
Li <i>et al.</i> , 2016		x		x	x	x		x				x	U
Nourqolipour <i>et al.</i> , 2016	x	x				x				x		x	S
Wey & Wei, 2016	x		x	x			x				x	x	R
Petkar & Macwan, 2016	x	x	x					x	x	x		x	U
Wei <i>et al.</i> , 2016	x				x		x					x	T
Abad & Farahnaki, 2017	x	x			x		x	x		x		x	U
Shu <i>et al.</i> , 2017	x	x		x	x	x				x		x	U
Zinatizadeh <i>et al.</i> , 2017					x	x		x				x	U
Carli <i>et al.</i> , 2018			x		x							x	U
Chakraborty & Chakraborty, 2018	x				x			x	x	x		x	U
Eldeeb <i>et al.</i> , 2018	x	x		x				x		x			T
Bivina & Parida, 2020	x		x				x				x	x	T
Palevičius <i>et al.</i> , 2019	x	x			x	x		x		x		x	U
Akin & Kara, 2020	x	x	x					x	x			x	T

Legenda: I: Parque Industrial
T: Sistema de Transporte
U: Nova Urbanização
S: Uso do Solo
R: Projetos de Vias

Dentro do grupo acessibilidade/sistema de transporte estão presentes fatores como: proximidade a estações de trem, ônibus e metrô, matriz modal disponível, proximidade de vias e proximidade ao transporte público (Arabsheibani *et al.*, 2016; Nourqolipour *et al.*, 2016; Wey & Wei, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Wei *et al.*, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Shu *et al.*,

2017; Chakraborty & Chakraborty, 2018; Eldeeb *et al.*, 2018; Bivina & Parida, 2020; Palevičius *et al.*, 2019; Akin & Kara, 2020).

No grupo uso e ocupação estão presentes fatores como proximidade a centros comerciais e o zoneamento local (Arabsheibani *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Nourqolipour *et al.*, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Shu *et al.*, 2017; Eldeeb *et al.*, 2018; Palevičius *et al.*, 2019; Akin & Kara, 2020). Já o grupo características do meio físico, em sua maioria, é apenas considerado a declividade dos locais analisados (Arabsheibani *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Wey & Wei, 2016; Shu *et al.*, 2017; Eldeeb *et al.*, 2018). Para o meio ambiente, são analisados índices de poluição e ruído, principalmente emissão de CO₂ (Li *et al.*, 2016; Wei *et al.*, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Shu *et al.*, 2017; Zinatizadeh *et al.*, 2017; Carli *et al.*, 2018; Chakraborty & Chakraborty, 2018; Palevičius *et al.*, 2019).

Por sua vez, o grupo de variáveis restritivas – áreas protegidas - trata dos locais, que por legislação, devem ser preservados como áreas ambientalmente sensíveis, áreas culturalmente preservadas e patrimônios ambientais e culturais (Arabsheibani *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Nourqolipour *et al.*, 2016; Shu *et al.*, 2017; Zinatizadeh *et al.*, 2017; Palevičius *et al.*, 2019).

O grupo segurança envolve tanto fatores de segurança pública como segurança viária (Wey & Wei, 2016; Wei *et al.*, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Bivina & Parida, 2020). As características socioeconômicas abordadas nos artigos são diversas, sendo que as principais incluem postos de trabalho, salário e Densidade Populacional (Li *et al.*, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Chakraborty & Chakraborty, 2018; Eldeeb *et al.*, 2018; Palevičius *et al.*, 2019; Akin & Kara, 2020).

O grupo serviços de utilidade pública incluem a distância em relação a hospitais, bancos, escolas e instituições públicas (Arabsheibani *et al.*, 2016; Wey & Wei, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Abad & Farahnaki, 2017; Shu *et al.*, 2017; Chakraborty & Chakraborty, 2018; Eldeeb *et al.*, 2018; Palevičius *et al.*, 2019). Já o grupo infraestrutura urbana trata da presença de iluminação pública, na maioria dos casos (Arabsheibani *et al.*, 2016; Wey & Wei, 2016; Bivina & Parida, 2020). O preço da terra (Arabsheibani *et al.*, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Chakraborty & Chakraborty, 2018; Akin & Kara, 2020) e a disponibilidade de terra (Wey & Wei, 2016; Petkar & Macwan, 2016; Carli *et al.*, 2018; Bivina & Parida, 2020; Akin & Kara,

2020) também grupos de fatores de modelagem recorrentes, entretanto, para o contexto brasileiro, esses dados são de difícil obtenção.

Do levantamento realizado, verifica-se que os temas mais recorrentes são acessibilidade/sistema de transportes, uso e ocupação do solo e meio ambiente. No primeiro, percebe-se uma preocupação com a existência não só de vias para tráfego de automóveis, mas também com a presença de transporte público e diversidade na matriz modal, sendo que há uma forte presença de infraestrutura para o transporte sobre trilhos na forma de estações de trem e sistema de metrô. No segundo, a principal discussão é a proximidade com centros comerciais, pois eles são origem e destino de várias viagens ao longo do dia. Também é relevante conhecer o uso do solo nas proximidades do empreendimento para compreender a aceitação e adequabilidade do mesmo ao projeto que se deseja desenvolver.

Por fim, o tema meio ambiente é retratado, também, na medida de emissão de CO₂. Há uma crescente preocupação em inserir não só a qualidade ambiental atual do local como também de avaliar o impacto na qualidade do ar após a intervenção humana. As características socioeconômicas da população também são lembradas por quase todos os autores, e colocam bastante importância, principalmente na densidade populacional.

Ainda, na perspectiva da tomada de decisão locacional, os projetos a serem desenvolvidos necessitam de espaço físico adequado para que sejam de fato implementados. Entretanto, nem todos os trabalhos consultados consideram essa variável, tampouco o preço da terra. Isso pode levar a conclusão de que esses fatores, embora relevantes, não configuram como os mais importantes até então relatados na literatura.

3.1 Tomada de decisão no âmbito do TUC: critérios de localização de armazéns

A localização de armazéns logísticos consiste em um *facility location problem*, problema amplamente estudado pelo campo da engenharia de produção (Owen & Daskin, 1998). O fato de o problema ser amplamente estudado não significa que sua solução seja trivial, solução essa que perpassa por aspectos quantitativos e qualitativos, e que podem ser complementares ou conflitantes entre si (Essaadi *et al.*, 2016).

Essaadi, Graboy e Fénies (2016) elencaram diversos fatores, a partir de revisão sistemática da literatura, que influenciam os gestores das empresas a escolherem o local de instalação de seus armazéns logísticos. Sendo esses fatores:

- **Disponibilidade e qualidade de infraestrutura:** é o fator que se relaciona diretamente com o sistema de transporte local, sua capilaridade e sua acessibilidade;
- **Disponibilidade de terra:** não se avalia apenas o terreno necessário para a instalação do armazém nas condições atuais, mas também a disponibilidade de terreno para expansão e o preço da terra;
- **Atratividade de mão de obra:** analisa se localmente existe mão de obra qualificada e disponível para a operação do armazém além de analisar os custos envolvidos com a contratação do pessoal. O impacto dessa atratividade também deve ser levado em consideração, no que diz respeito a serviços de saúde, educação, transporte público e saneamento básico oferecidos pela cidade;
- **Proximidade de mercados consumidores:** avalia a proximidade da instalação com áreas comerciais, industriais e portos e aeroportos;
- **Qualidade de vida:** reflete a avaliação dos aspectos que afetam o bem estar dos trabalhadores como poluição, segurança, custo de vida e acesso a hospitais e escolas; e,
- **Incentivos regionais:** além dos incentivos a nível federal, os estados e municípios também podem oferecer incentivos extras que devem ser levados em consideração na hora de escolher o local para se instalar os armazéns.

Ainda sob o ponto de vista empresarial, para determinar a localização de armazéns logísticos, Ivanov *et al.* (2019) ressaltam que há uma dificuldade em compatibilizar os diversos critérios utilizados para tomada de decisão do melhor local para localizar os ALs, pois eles podem ser de natureza quantitativa ou qualitativa, conforme observado na

Tabela 3.1. Entre os critérios quantitativos se encontram os diversos custos que envolvem a construção e operação do armazém, enquanto os critérios qualitativos abrangem critérios relacionados às características locais econômicas, ambientais e de infraestrutura.

Tabela 3.1: Critérios quantitativos e qualitativos utilizados no processo de escolha do local de instalação dos ALs (Fonte: Adaptado de Ivanov *et al.*, 2019)

Critério de natureza quantitativa	Critério de natureza qualitativa
<ul style="list-style-type: none"> • Custo de transporte • Custos de construção • Custos de aluguel • Custo da mão de obra • Custos dos materiais <ul style="list-style-type: none"> • Taxas e impostos • Suporte financeiro do governo local 	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura <ul style="list-style-type: none"> • Qualidade da mão de obra • Grau de desenvolvimento da rede de transporte <ul style="list-style-type: none"> • Poder de compra • Opções de financiamento <ul style="list-style-type: none"> • Fornecedores • Estabilidade política • Risco de ocorrência de desastres naturais <ul style="list-style-type: none"> • Barreiras de mercado • Ambiente de negócio • Regulação ambiental • Vantagem competitiva • Proximidade a consumidores e fornecedores

No sentido de obter os parâmetros obtidos para localização de ALs, uma revisão sistemática da literatura foi realizada na plataforma Google Acadêmico utilizando as palavras-chave “warehouse” + “multicriteria decision making”. Dos 852 trabalhos foram selecionados 25 artigos. Esses artigos também foram selecionados baseado na similaridade com o objetivo de se identificar os critérios utilizados para locar novos ALs. As variáveis explicativas foram divididas em 8 diferentes grupos que foram elaborados a partir do que foi observado na Tabela 2.1 e o item 2. Os grupos são: acessibilidade, uso e ocupação do solo, custo logístico, distância aos centros consumidores e fornecedores, tráfego de caminhões, terreno para expansão, população e outros fatores. Os resultados da revisão sistemática da literatura para identificação dos critérios utilizados na localização de ALs estão representados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2: Revisão sistemática da literatura para identificar os critérios utilizados na localização dos ALs

Referência	Grupo							
	Acessibilidade/ sistema de transporte	Uso e ocupação do solo	Custo logístico	Distância aos centros consumidores e fornecedores	Tráfego de caminhões	Terreno para expansão	População	Outros
Allen <i>et al.</i> , 2000	x	x						x
Ko, 2005		x				x	x	x
Bowen Jr, 2008	x							
Andreoli <i>et al.</i> , 2010	x		x					x
Antún <i>et al.</i> , 2010	x							
Dablanc & Rakotonarivo, 2010		x						
Wagner, 2010	x	x	x		x			
Awasthi <i>et al.</i> , 2011			x	x				
Cidell, 2011		x						
Hilmola & Lorentz, 2011	x		x	x				x
Jakubicek & Woudsma, 2011	x		x	x		x		x
Dablanc & Ross, 2012		x	x					
Diziaian <i>et al.</i> , 2012		x						
Lindholm & Behrends, 2012	x	x			x			
van der Hauvel <i>et al.</i> , 2013								x
Guerrero & Proulhac, 2014		x						
Aljohani & Thompson, 2016	x	x	x		x			x
Jaller <i>et al.</i> , 2017	x	x	x	x		x		x
Kudláčková & Chocholáč, 2017				x				
Tricoire & Parragh, 2017			x					
Giuliano & Kang, 2018		x	x					x
Kang, 2018a	x		x	x		x	x	x
Sakai <i>et al.</i> , 2016		x	x					
Yuan, 2018	x		x					x
Aksa <i>et al.</i> , 2020	x					x	x	x

O critério acessibilidade ao sistema de transporte diz respeito a disponibilidade de infraestrutura de transporte disponível em proximidade e em diversidade de modos (Allen *et al.*, 2000; Bowen Jr, 2008; Andreoli *et al.*, 2010; Andreoli *et al.*, 2010; Antún *et al.*, 2010; Wagner, 2010; Hilmola & Lorentz, 2011; Lindholm & Behrends, 2012; Aljohani & Thompson, 2016; Jaller *et al.*, 2017;

Kang, 2018a; Yuan, 2018; Aksa *et al.*, 2020). O uso e ocupação do solo se relaciona tanto com a permissividade do local de construção dos ALs, como também os locais que proíbem sua construção como área de proteção ou áreas exclusivamente residências (Allen *et al.*, 2000; Ko, 2005; Dablanc & Rakotonarivo, 2010; Wagner, 2010; Cidell, 2011; Dablanc & Ross, 2012; Diziain *et al.*, 2012; Lindholm & Behrends, 2012; Guerrero & Proulhac, 2014; Aljohani & Thompson, 2016; Jaller *et al.*, 2017; Giuliano & Kang, 2018; Sakai *et al.*, 2016).

O custo logístico é o parâmetro que apresentou maior relevância nos modelos matemáticos, pois um AL localizado no local adequado pode minimizar os custos de distribuição da empresa (Andreoli *et al.*, 2010; Wagner, 2010; Awasthi *et al.*, 2011; Hilmola & Lorentz, 2011; Jakubicek & Woudsma, 2011; Dablanc & Ross, 2012; Aljohani & Thompson, 2016; Jaller *et al.*, 2017; Tricoire & Parragh, 2017; Giuliano & Kang, 2018; Kang, 2018a; Sakai *et al.*, 2016; Yuan, 2018). A distância em relação aos polos produtores e consumidores também representaram papel importante nos modelos (Awasthi *et al.*, 2011; Hilmola & Lorentz, 2011; Jakubicek & Woudsma, 2011; Jaller *et al.*, 2017; Kudláčková & Chocholáč, 2017; Kang, 2018a).

Já em menor escala, os critérios relacionados aos congestionamentos e dificuldades operacionais dos veículos de carga (Wagner, 2010; Lindholm & Behrends, 2012; Aljohani & Thompson, 2016) assim como terreno disponível para expansão dos ALs (Ko, 2005; Jakubicek & Woudsma, 2011; Jaller *et al.*, 2017; Kang, 2018a; Aksa *et al.*, 2020) e as características populacionais (Ko, 2005; Kang, 2018a; Aksa *et al.*, 2020) local são pouco considerados no processo de localização dos ALs.

3.2 Critérios comuns ao planejamento urbano e ao transporte urbano de cargas

Um dos objetivos desse trabalho é auxiliar o planejamento urbano e de transportes compreendendo como diversos fatores comuns ao meio urbano interferem na localização dos armazéns logísticos. Assim, unindo as duas revisões realizadas anteriormente, é possível identificar os grupos de variáveis indispensáveis para explicar o fenômeno investigado, ou seja, os grupos de variáveis que explicam como os armazéns logísticos se distribuem nesse espaço.

Na Tabela 3.2 estão elencados os grupos dos fatores analisados nos 40 artigos selecionados (Tabela 2.1 e

Tabela 3.1). É possível observar que há sobreposição nos grupos acessibilidade e uso e ocupação do solo, sendo que cada um observa aspectos diferentes, apropriados ao seu objetivo. Mesmo assim, para ambos os casos, se nota o interesse em uma rede de transporte bem desenvolvida com presença de estações de transporte e matriz modal diversificada. A distância do centro comercial também se mostrou importante para os dois grupos, sendo também indispensável para a modelagem. Também está presente a disponibilidade de terreno, sendo que para o empresário, a existência de terra disponível para expansão do empreendimento um fator relevante no processo da tomada de decisão. As características populacionais também estão presentes em ambas as perspectivas, sendo que a renda e a densidade populacional são os fatores mais importantes nesse grupo.

Tabela 3.2: Resumo dos principais critérios utilizados no Planejamento Urbano e no processo de escolha da localização de ALs

Grupo de variáveis ligadas ao planejamento urbano	Grupo de variáveis ligadas à localização de armazéns logísticos
<ul style="list-style-type: none"> • Acessibilidade/ Sistema de Transporte • Uso e Ocupação do solo • Disponibilidade de Terra • Características do Meio Físico • Meio Ambiente • Área Protegida • Segurança • Características Socioeconômicas • Preço da Terra • Serviços de Utilidade Pública • Infraestrutura Urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Acessibilidade/ Sistema de Transporte • Uso e Ocupação do Solo • Custo Logístico • População • Tráfego de caminhões • Terreno para expansão • Distância aos centros consumidores e fornecedores

Este capítulo teve como objetivo observar como o processo de localização de armazéns logísticos é encarado pelos administradores de empresas e como os gestores públicos costumam abordar a temática de um problema multicriterial para o planejamento urbano. Com isso foi possível levantar quais características podem ser explicativas para o fenômeno de localização de ALs no contexto metropolitano para poder dar prosseguimento a etapa de modelagem. Para

a modelagem geográfica foi utilizado o máximo de variáveis que foi possível ser obtido de fonte confiável compatível à escala e ao contexto geográfico do estudo.

4 O MODELO DE MÁXIMA ENTROPIA E SUA UTILIZAÇÃO NO CONTEXTO GEOGRÁFICO

O conceito de entropia surge na termodinâmica e foi proposto por Clausius em 1854 como a medida do nível de caos (ou desordem) de um sistema (Wang *et al.*, 2019a). Em 1948, Shannon (1948) adaptou o conceito da termodinâmica e criou o termo “*information entropy*”, que é utilizada para descrever a incerteza da fonte da informação, como a média ponderada de um conjunto de informações, excluindo suas repetições, cujos pesos são a probabilidade de ocorrência do evento. A formulação proposta por Shannon (1948), representada pela Equação 1 foi baseada no Teorema H de Boltzmann, indica que a informação estudada pode ser definida como sendo o negativo do logaritmo natural da probabilidade de sua distribuição, sendo possível inferir que a entropia se relaciona com a imprevisibilidade do conteúdo da informação (Kornejady *et al.*, 2017). Esse conceito e sua formulação possibilitou a medida da incerteza de maneira estocástica, sendo percussora do conceito de Máxima Entropia (Wang, *et al.*, 2019a).

$$H(X) = E[I(X)] = E[-\ln(\hat{\pi}(x))] \quad (1)$$

Em que:

E = H = entropia

I = informação

$\hat{\pi}$ = função distribuição de probabilidade final

X = área de estudo

x = elemento individual (ponto)

A partir de uma complexa e rigorosa formulação matemática, a formulação da teoria da Máxima Entropia foi proposta por Jaynes, em 1957, teorizando como a probabilidade a prior de um evento pode interferir em uma informação desconhecida, sendo que as implicações práticas de sua aplicação foram demonstradas posteriormente pelo mesmo autor (Jaynes, 1982). A técnica de Máxima Entropia calcula a distribuição probabilística que descreve um estado de um sistema que não é completamente especificado e evolui a ponto de estimar o estado do mesmo sistema (Waldrip *et al.*, 2017), sendo que essa distribuição inferida pode ser interpretada como a distribuição mais provável que representa o sistema (Ellis, 2000; Niven, 2009). Uma vez que o

conceito de entropia é a medida da incerteza, a Máxima Entropia pode ser definida como a máxima incerteza sobre um fenômeno desconhecido (Kapur & Kesavan, 1992).

Na busca pela distribuição desconhecida, o Modelo da Máxima Entropia (MME) busca conhecer a distribuição real π do evento em um conjunto de pixels da área de estudo X compreendida a partir de elementos individuais x (Kornejady *et al.*, 2017). A Função de Densidade de Probabilidade (FDP) $\hat{\pi}$ deve satisfazer a duas condições básicas da estatística (Philips *et al.*, 2006):

- i. A cada ponto (x) deve ser atribuída uma probabilidade não negativa, sendo esse um fato estatístico para eventos observados;
- ii. A integral de todas as probabilidades deve ser igual a 1,0.

Com isso, a Equação 1 pode ser reescrita de forma a satisfazer os pressupostos anteriormente descritos, conforme apresentado na Equação 2.

$$H(X) = -\sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \cdot \ln \hat{\pi}(x) \quad (2)$$

Deve ser ressaltado que o modelo considera a presença do evento analisado (Philips *et al.*, 2006; Eilith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2007; Wisz *et al.*, 2008). Essa característica garante sua adequabilidade para o planejamento urbano, uma vez que ele considera que mesmo que o fenômeno não tenha sido identificado em certa região, não impede que ele possa ocorrer naquele lugar, se tal região apresentar potencial para ocorrência de tal fenômeno (Kornejady *et al.*, 2017). Em outras palavras, o modelo permite identificar locais em que o fenômeno em estudo tem potencial para ocorrer, corroborando com uma das premissas estabelecidas para o desenvolvimento da presente pesquisa.

A Máxima Entropia é considerada um modelo generativo, cuja diferença dos modelos discriminativos é que ele aprende de maneira conjunta a probabilidade de distribuição $P(x,y)$ e a probabilidade condicional $P(x|y=1)$ (Philips *et al.*, 2006; Kornejady *et al.*, 2017). Sua vantagem é fornecer uma maior precisão com menor quantidade de dados para treinar o modelo (Pearson *et al.*, 2007; Merroiw *et al.*, 2013).

A formulação de Máxima Entropia busca maximizar logaritmo da máxima verossimilhança e consequentemente minimizar logaritmo da máxima verossimilhança negativa (Dudík *et al.*, 2007; Shipley, 2010). Quanto maior o logaritmo da máxima verossimilhança mais próximo o modelo está da ocorrência do evento. Assim, o modelo de máxima entropia é considerado um modelo estatístico probabilístico de *machine learning* por ser um processo iterativo que a cada novo processamento se utiliza de parâmetros estatísticos para definir o melhor modelo (Kornejady *et al.*, 2017). Cabe ressaltar que o modelo não tem o intuito de corresponder na totalidade ao fenômeno estudado, mas sim se aproximar o máximo possível dele (Kornejady *et al.*, 2017).

Na literatura, a ferramenta mais frequentemente utilizada para se obter modelos geográficos de distribuição de espécies utilizando a técnica de Máxima Entropia é o *software* MAXENT (Philips *et al.*, 2020), idealizado pelo *American Museum of Natural History* (AMNH). A preparação dos dados, complementação da análise dos resultados e sua aplicação pode ser realizada em outras plataformas, como ArcGIS, QGIS e R – sendo esses os principais *softwares* utilizados nos artigos apresentados posteriormente no Quadro 4.1. A grande vantagem de utilizar o MAXENT é a robustez de seu processamento e consequentemente de resultados. Contudo, é importante salientar que outra grande vantagem do MAXENT é sua interface simples para realizar o inventário de dados de entrada.

As ocorrências do evento são representadas por pontos (lista com pares de coordenadas contendo a latitude e a longitude em formato *csv* e as variáveis espaciais representadas por matrizes em formato ASCII para retirar as informações de forma e dimensão da camada (Young *et al.*, 2011). Outra importante vantagem do *software* é a possibilidade da utilização simultânea de dados contínuos e categóricos, sem a necessidade de classificação em camadas contínuas, produzindo assim resultados mais robustos quando comparado com métodos estatísticos bivariados, além de reduzir as imprecisões por erro de classificação dos dados (Kornejady *et al.*, 2017).

No algoritmo do MAXENT é selecionado, aleatoriamente, uma parcela das amostras para treinar e testar o algoritmo e o restante é reservado para a validação do modelo (Kornejady *et al.*, 2017). No processamento, o modelo é estimado a partir de uma FDP uniforme. Na configuração padrão, é assumida como hipótese inicial é que cada pixel possui a mesma probabilidade de ocorrer o evento. Logo, a partir de restrições locais, a FDP uniforme se

transforma na FDP do contexto espacial de cada pixel (Kornejady *et al.*, 2017). Cada FDP é uma combinação de feições locais, medida no espaço de atributos n -dimensional, fatores (mapa temático) e restrições (Philips *et al.*, 2006; Eilith *et al.*, 2010; Halvorsen, 2012; Halvorsen, 2013).

Para que a FDP uniforme inicialmente atribuída se transforme na FDP atualizada, são desenvolvidas interações entre a formulação e as restrições. O objetivo de ajustar a FDP é obter a distribuição que melhor se adequa a cada restrição com cada interação. A FDP não é calculada para o fator e sim para a feição, pois cada fator pode conter mais de uma restrição. O processo é composto de diversas interações até que a probabilidade de ocorrência do evento aumente. Alguns autores (Philips *et al.*, 2006; Philips & Dudík, 2008; Convertino *et al.*, 2013) identificaram que a FDP final estimada no MAXENT corresponde à distribuição de Gibbs, ilustrada na Equação 3.

$$q_y(x) = \frac{e^{\sum_{j=1}^n \lambda_j f_j(x)}}{Z_\lambda} \quad (3)$$

Em que:

y = variável de resposta;

λ = vetor contendo pesos de ponderação;

f = vetor com características locais;

Z_λ = constante de normalização para garantir que $\sum q_y(x) = 1,0$

O modelo estimado no MAXENT é composto por três elementos: o fenômeno, os fatores e as restrições. O fenômeno é composto pela localização geográfica de seu objeto de estudo, sendo a ocorrência do fenômeno analisado. Os fatores são o conjunto de características que descrevem o fenômeno, sendo necessário, no mínimo, dois fatores para a estimação do modelo. Cada fator é uma composição de diferentes características da área de modelagem, sendo que cada característica é chamada de restrição.

Dessa forma, o modelo de máxima entropia (MME) estima a fração $f_i(\mathbf{z})/f(\mathbf{z})$, em que \mathbf{z} é o fator. A função $f_i(\mathbf{z})$ estima a ocorrência do fator partir da Equação 4. Essa função é calculada de maneira iterativa em um processo de *machine learning* em que as restrições são aplicadas a cada fator e o algoritmo escolhe $f_i(\mathbf{z})$ que mais se aproxima de $f(\mathbf{z})$, sendo que $f(\mathbf{z})$ representa o

modelo nulo de $f_1(\mathbf{z})$ (na estimação de um modelo de regressão, modelo nulo está relacionado com a hipótese nula). Minimizar $f_1(\mathbf{z})$ é o mesmo que maximizar a entropia (Eilith *et al.* 2011).

$$f_1(\mathbf{z}) = f(\mathbf{z})e^{\eta(\mathbf{z})} \quad (4)$$

O expoente da Equação 4 é calculado pela Equação 5:

$$\eta(\mathbf{z}) = \alpha + \beta \cdot h(\mathbf{z}) \quad (5)$$

Em que:

α = é a constante normalizadora que garante que o somatório $f_1(\mathbf{z})$ é 1.0

$\beta = \lambda$ = vetor com pesos de ponderações das restrições

$h(\mathbf{z})$ = vetor com restrições de cada fator

Na solução busca-se encontrar coeficientes de ponderação λ que se adequem da melhor maneira possível as restrições de cada fator, mas que não o sobreponha. Para evitar assim a sobreposição de valores evitando que o cenário projetado não seja coincidente com o atual, define-se um valor de erro e de desvio-padrão aceitáveis. O erro é calculado, de maneira iterativa, a partir da Equação 6, e o parâmetro λ' é o parâmetro de troca do cálculo do erro. Esse cálculo do erro é chamado de regularização L1 (Tibshirani, 1996), sendo uma maneira comum de fornecer soluções esparsas nos algoritmos *machine learning* mais modernos (Elith *et al.* 2011).

$$\lambda'_j = \lambda' \sqrt{\frac{s^2[h_j]}{m}} \quad (6)$$

Em que:

λ'_j = é o fator de regularização do parâmetro para cada fator h_j

λ' = parâmetro de troca

$s^2[h_j]$ = variância do fator

m = área de presença do fenômeno

Os valores estimados nos locais de ocorrência do fenômeno são medidos a partir da maximização da função de verossimilhança. Um gráfico de barra com o ganho do algoritmo é mostrado ao final do processamento da rotina e demonstra como o algoritmo se aproxima de descrever a realidade a partir do incremento em seu valor e ele faz isso ao penalizar a média da função de verossimilhança comparando ao modelo inicial (Elith *et al.* 2011).

Para incrementar a visualização e o entendimento da parte probabilística do algoritmo, o MAXENT gera a representação cartográfica dos resultados estimados na forma logística, para obter $P_r (y=1 | \mathbf{z})$. Para tanto, os resultados das iterações anteriormente descritas são transformados pela Equação 7. Essa transformação se justifica pelo fato de os resultados antes da transformação estarem relacionados a limitação que os modelos preditivos exponenciais possuem em prever fora da área inicialmente prevista, que é solucionado com essa transformação ao modelo logístico.

$$P_r (y = 1 | \mathbf{z}) = \frac{\tau e^{\eta(\mathbf{z})-r}}{1-\tau+\tau e^{\eta(\mathbf{z})-r}} \quad (7)$$

Em que:

P_r = e a probabilidade de localização do fenômeno estimada em notação logística

τ = é a probabilidade de presença do fenômeno em condições típicas

$\eta(\mathbf{z})$ = é a média dos valores de $\eta(\mathbf{z})$ utilizados para calcular $f_1(\mathbf{z})$

r = entropia relativa na estimação de $f_1(\mathbf{z})$ a partir de $f(\mathbf{z})$

É usual encontrar MME estimando fenômenos relacionados a ecologia. Contudo, em caráter inédito, este trabalho hipotetiza seu uso aplicado ao planejamento de transportes, mais especificamente para abordar locação de infraestruturas. Desta forma, pretende-se aqui demonstrar sua aplicabilidade para o planejamento urbano, trabalho este iniciado por uma revisão sistemática da literatura. A revisão foi realizada na plataforma Google Acadêmico, sem restrição de data, e com as palavras-chave “MAXENT” + “urban planning”, identificando-se 696 artigos pelo título.

Analisando o conteúdo do resumo, 20 artigos foram selecionados para este estudo considerando a proposta da dissertação. Vale salientar que foi utilizado como palavra-chave o nome do

software pois no processo de pesquisa percebeu-se que ao utilizar como palavra-chave “*maximum entropy*” foram retornados alguns resultados que envolviam a utilização da teoria de máxima entropia e não a utilização da mesma como ferramenta aplicada na distribuição de espécies. Contudo, com a palavra-chave “*maxent*” os resultados retornados pela plataforma de busca retornavam os estudos de caso já selecionados mais próximo ao estudo que se pretendeu realizar nessa dissertação, limitando assim os trabalhos que utilizaram o conceito de Philips *et al.* (2006) de um modelo que estima a distribuição de espécies através do espaço geográfico.

Os trabalhos foram categorizados em função do seu tema de abordagem no contexto do planejamento urbano, sendo possível observar que o TUC não foi fenômeno de investigação com o método sugerido para essa dissertação. Os artigos da Quadro 4.1 utilizam de um dado fenômeno do ambiente urbano ou rural e utilizam a distribuição probabilística obtida pela técnica de máxima entropia como base para elaboração de diretrizes para o planejamento urbano.

Quadro 4.1: Revisão sistemática da literatura acerca do MME aplicado ao planejamento urbano

Referências	Grupo					
	Risco	Ecologia/ Meio Ambiente	Epidemiologia	Transporte	Comunidades Urbanas	Expansão Urbana
Gaucherel <i>et al.</i> (2016)		x				
Arbanas, 2017	x					
Carotenuto <i>et al.</i> , 2017	x					
Gray, 2017		x				
Kornejady <i>et al.</i> , 2017	x					
Waldrip <i>et al.</i> , 2017				x		
Yuan <i>et al.</i> , 2017	x					
Duflot <i>et al.</i> , 2018		x				
Kerekes <i>et al.</i> , 2018	x					
Kim <i>et al.</i> , 2018		x			x	
Préau <i>et al.</i> , 2018		x				
Rossi <i>et al.</i> , 2018			x			
Mobley, 2019					x	

Referências	Grupo					
	Risco	Ecologia/Meio Ambiente	Epidemiologia	Transporte	Comunidades Urbanas	Expansão Urbana
Molina <i>et al.</i> , 2019		x		x		
Pradhan <i>et al.</i> , 2019		x			x	
Tan <i>et al.</i> , 2019		x			x	
Wang <i>et al.</i> , 2019a						x
Wang <i>et al.</i> , 2019b		x				
Stas <i>et al.</i> , 2020		x				x
Zhang <i>et al.</i> , 2020						

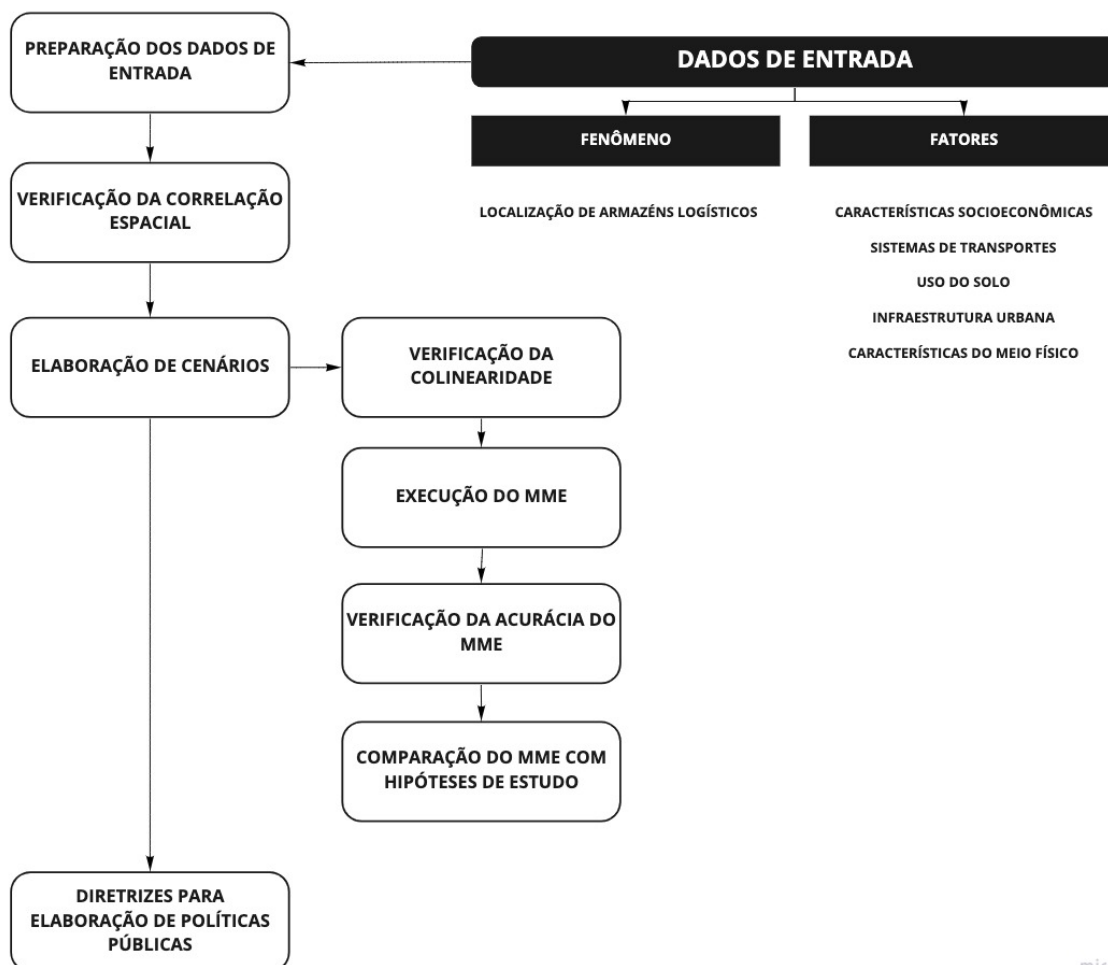
A aplicabilidade desse método estatístico-probabilístico de *machine learning* para o planejamento urbano se deve ao fato de não requer alta precisão e extensas pesquisas de campo (Kornejady *et al.*, 2017) apesar de sua matemática complexa. Devido a isso, o MME tem potencial de ser uma importante ferramenta para predizer padrões de ocupação apenas com dados de informação, sem depender de atribuição de pesos por especialistas, o que muitas vezes apresenta viés de interpretação. Além disso, como é possível obter a melhor distribuição da probabilidade de ocorrência de um evento com informações incompletas (Jaynes, 1978; Jaynes, 1982; Peterson, 2006; Medley, 2009), sua aplicação para o TUC, em que existe escassez e/ou inexistência de dados no Brasil se mostra adequada.

Dados básico para o planejamento do TUC como volume de carga circulante, tipo de mercadoria, origem e destino das mercadorias, e até mesmo zoneamento urbano e custo da terra, são em geral de difícil obtenção no território brasileiro, seja pela propriedade da informação, estratégica para o setor de logística, ou pela natureza do dado geográfico, nem sempre disponível na administração municipal e regional. Sendo assim, mesmo que esses dados tenham aparecido com recorrência na literatura internacional e sejam importantes, eles não foram considerados nesse modelo em função da indisponibilidade dos mesmos.

5 PROCEDIMENTOS DO MÉTODO DE PESQUISA

Essa dissertação busca compreender, a partir da união de técnicas de geoprocessamento com a formulação de Máxima Entropia, os fatores que explicam a localização dos armazéns logísticos e sua provável distribuição espacial. Para isso, a Região Metropolitana de Belo Horizonte foi utilizada como área de estudo. Os procedimentos do método de pesquisa estão ilustrados de forma sintetizada na Figura 5.1 e são apresentados ao longo deste capítulo. Para esta dissertação foi seguido o que a literatura de Philips *et al.* (2006) adota de nomenclatura para os elementos de modelagem. Assim, o que se considera como variável dependente de um modelo (variável y) foi denominada fenômeno, as variáveis independentes (variáveis x) foram denominadas fatores, e cada fator é a composição de um conjunto de restrições, assim as nomenclaturas das equações e do texto a partir desta seção foram adaptados para seguir o vocabulário utilizado neste tipo de modelo.

Figura 5.1: Fluxograma dos procedimentos de pesquisa



miro

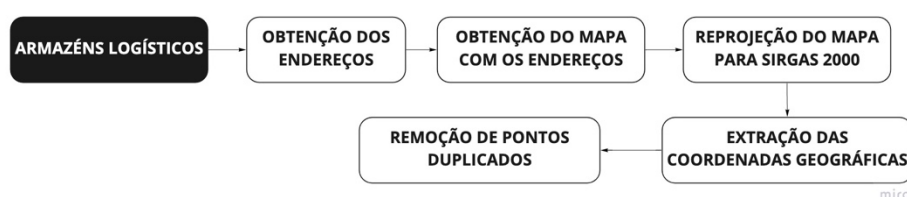
5.1 Preparação dos dados de entrada

Os dados de entrada incluem os pontos de ocorrência do fenômeno estudado e os fatores que o influenciam. Nessa seção é detalhado os procedimentos utilizados para obtenção dos fatores e sua preparação para sua posterior utilização.

5.1.1 Obtenção e preparação dos pontos de ocorrência do fenômeno estudado

A Figura 5.2 ilustra, de maneira esquemática, os passos realizados para obtenção da localização do fenômeno estudado, no caso, os ALs. A localização dos ALs é a variável dependente do MME e denominada como fenômeno “Armazéns”.

Figura 5.2: Fluxograma de obtenção e preparação dos dados da localização dos ALs



Os endereços foram extraídos do banco de dados da Junta Comercial de Minas Gerais do ano de 2015, utilizado no trabalho de Oliveira *et al.* (2017). Esses endereços foram exportados para o *Google Maps* e recorrendo a codificação geográfica dos endereços postais na plataforma, os ALs foram espacializados e exportados em um arquivo KMZ. Esse arquivo foi importado para o ArcGIS e reprojeto para o sistema de projeção SIRGAS 2000 UTM 23S. Foram então extraídas as coordenadas planas dos ALs e exportadas como texto em formato *csv*, para alimentação do modelo. Os ALs não foram classificados separadamente em função de suas características, tendo todos eles o código “armazem_logístico”. A Tabela 5.1 mostra a estrutura necessária dos dados para o *software* MAXENT.

Tabela 5.1: Modelo do arquivo *csv* a ser inserido no MAXENT

id	Coordenada X	Coordenada Y
armazem_logistico	000000.000	000000.000
armazem_logistico	000000.000	000000.000

(...)	(...)	(...)
armazem_logístico	000000.000	000000.000

Um passo importante para utilização da formulação do ME é verificar se existem pontos duplicados. Para isso foi utilizada a rotina no *software* R (R Core Team, 2013) apresentada na Figura 5.3. No caso em estudo, como cada AL possui um endereço distinto, não foram encontradas coordenadas coincidentes.

Figura 5.3: Rotina para remoção de pontos duplicados

```
lonzero <- subset('banco_de_dados', lon ==0)
dups <- duplicated(lonzero)
lonzero <- lonzero[dups,]
```

5.1.2 Obtenção e preparação dos fatores

Os fatores consistem das variáveis independentes consideradas para explicar o fenômeno. Foram utilizadas diversas fontes de dados na tentativa de obter as variáveis que representem o espaço urbano. Esses dados receberam diferentes tratamentos para obter o formato adequado para a execução do algoritmo. Os fatores utilizados são encontrados na Tabela 5.2. O principal motivo para não utilização de uma maior quantidade de fatores foi a dificuldade de obtenção dos dados com a mesma qualidade, confiabilidade e detalhamento para todos os municípios da RMBH, que são muito diversos e possuem portes distintos. Assim, optou-se por utilizar apenas aqueles fatores cujos dados foram possíveis de serem obtidos na mesma fonte de dados com o mesmo nível de detalhamento para toda a unidade territorial. O custo da terra, um fator fundamental para a localização de ALs, não foi utilizado neste trabalho pela indisponibilidade desse dado de fonte confiável e na escala adequada.

Os fatores foram divididos em 5 grupos: dados socioeconômicos, infraestrutura urbana, características do meio físico, sistema de transportes e uso do solo. Os dados socioeconômicos incluem informações a nível municipal que representam a sociedade local em termos de economia e estilo de vida. A infraestrutura urbana diz respeito ao saneamento básico e o sistema de transporte abrange a infraestrutura de rodovias, ferrovias, aeroportos e dutovias da RMBH. As características do meio físico podem ser compreendidas como as características que existem

na área, independente da ação humana, como a declividade do terreno. E, por fim, o uso do solo envolve características que descrevem como o espaço é utilizado para as atividades humanas.

Tabela 5.2: Fatores utilizados na modelagem

Grupo	Fatores	Descrição	Fonte	Formato do arquivo
Características Socioeconômicas (SO)	Renda	Renda média por município	IBGE (2018) ¹	tabela/vetor
	Empregos	Percentual de pessoas empregadas por município	IBGE (2010) ¹	tabela / vetor
	PIB	PIB por município	IBGE (2010) ¹	tabela / vetor
	IDHM	IDHM por município	IBGE (2010) ¹	tabela / vetor
	Atividade	Taxa de ocupação da população por município	IBGE (2010) ¹	tabela / vetor
	População	População estimada para 2018 por município	IBGE (2018) ¹	tabela /vetor
	Densidade Populacional	Densidade Populacional por município	IBGE (2010) ¹	tabela / vetor
Características do Meio Físico (MF)	Declividade	Declividade da área	Topodata (2008) ²	raster
Sistema de Transporte (ST)	Rodovias	Distância euclidiana de rodovia	Ministério da Infraestrutura (2017) ³	vetor
	Ferrovias	Distância euclidiana de ferrovias	Ministério da Infraestrutura (2017) ³	vetor
	Aeródromos	Distância euclidiana dos aeroportos	Ministério da Infraestrutura (2017) ³	vetor
	Dutovias	Distância euclidiana das dutovias	Ministério da Infraestrutura (2017) ³	vetor
	Ruas	Distância euclidiana das vias urbana	Minas Gerais (2009) ⁴	vetor
Uso do solo (US)	Comércio	Distância dos pontos de comércio	OpenStreet Map (2020) ⁵	ponto
	Mineração	Polígonos das áreas industriais	OpenStreet Map (2020) ⁵	vetor

Grupo	Fatores	Descrição	Fonte	Formato do arquivo
	Mancha Urbana	Território urbanizado	Minas Gerais (2009) ⁴	vetor
	Indústria	Polígonos das áreas industriais	OpenStreet Map (2020) ⁵	vetor
Infraestrutura Urbana (IU)	Taxa de urbanização	Taxa de vias públicas com urbanização adequada por município	IBGE (2010)	tabela / vetor
	Esgotamento Sanitário	Taxa de domicílios com esgotamento sanitário adequado por município	IBGE (2010)	tabela / vetor
Legenda	1	(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), s.d.)		
	2	(Brasil, 2008)		
	3	(Brasil, 2017)		
	4	(Minas Gerais, 2009)		
	5	(OpenStreetMap Foundation, s.d.)		

Na Figura 5.4 é ilustrado o fluxograma para obtenção e preparação dos fatores para a modelagem e que são detalhados nas próximas subseções.

Figura 5.4: Fluxograma de obtenção e preparação dos fatores para a modelagem no MAXENT



Os dados socioeconômicos e de infraestrutura urbana foram extraídos da plataforma IBGE Cidades. Cada fator foi extraído da plataforma e tabulado no respectivo território, em planilha eletrônica. Essa planilha foi exportada para o QGIS, onde utilizando o mapa com os polígonos da RMBH foi atribuído a cada polígono o valor do fator. Ao final desse processo foram gerados arquivos no formato *shapefile* para cada fator.

A declividade foi obtida a partir do download das folhas: 19_45; 19_435; 20_45; e 20_435, da página eletrônica do Projeto site Topodata. Para esse fator tem-se quatro arquivos no formato *raster* do tipo TIFF, cujos arquivos foram unidos no ArcGIS, a partir da ferramenta mosaico do qual posteriormente foi extraído a partir de uma máscara com o polígono da RMBH. Do portal do Ministério de Infraestrutura, foram obtidos os dados referentes ao sistema de transporte, estando eles em formato *shapefile*. Do portal do PDDI foi obtido o arquivo em formato *shapefile* da mancha urbana da RMBH.

Em função da dificuldade de obter dados precisos do uso do solo, foi feita uma *proxy* utilizando a localização de comércios, zonas industriais e zonas minerárias, pois elas são as três principais atividades econômicas da RMBH. Para tanto foi utilizado o *software* R, ao qual foi executada uma rotina contendo os pacotes "tidyverse" (versão 1.3.0) (Wickham, 2019), "omsdata"(versão 0.1.3) (Padgham, *et al.*, 2020), e "sf" (versão 0.9-5) (Pebesma, *et al.*, 2020), para extrair esses componentes do *OpenStreetMap*. Cabe uma ressalva que, por ser uma plataforma colaborativa, podem não estar inclusos todos os pontos comerciais, industriais e minerários, no entanto, visto a dificuldade de obter o uso do solo de maneira mais precisa e a própria técnica de Máxima Entropia ter como ponto positivo a utilização de dados *proxy*, foi julgado adequada a utilização dessa aproximação. O arquivo referente aos comércios foi obtido em formato *csv* e o de zonas industriais e minerárias em formato *shapefile*. O arquivo contendo os dados das zonas industriais foi exportado para o QGIS, de onde foram excluídos os pontos fora dos limites da RMBH e foi criado um arquivo em *shapefile*.

Com o auxílio do ArcGIS, os arquivos em formato *shapefile* foram convertidos em *raster* do tipo TIFF. Para os dados SO (Características Socioeconômicas) e de IU (Infraestrutura Urbana) a ferramenta utilizada foi converter polígono para *raster*. Para os outros dados – ST (Sistema de Transportes) e US (Uso do Solo) – foi utilizada a ferramenta de distância euclidiana. Todos os arquivos foram elaborados com células de 10m, dimensão considerada aderente ao propósito da pesquisa pois possibilita a identificação/representação de todas as feições geográficas relevantes para as variáveis selecionadas na pesquisa. Foi adotado o sistema de referência SIRGAS 2000 e as coordenadas projetadas em UTM 23S. Como resultado desses dois processos são produzidos arquivos matriciais, neste trabalho utilizados em formato TIFF.

Para garantir que todos os arquivos tenham o mesmo polígono e mesma extensão foi feita a extração por meio de máscara elaborada a partir do polígono da RMBH. No *software*

MAXENT, os fatores devem ser inseridos no formato ASCII, sendo que eles devem possuir mesmo número de linhas e colunas, mesma extensão, mesma resolução e estarem no mesmo sistema de projeção. Para tanto foi utilizada a rotina apresentada na Figura 5.5 o *software* R. OS arquivos em formato ASCII são os chamados fatores e variáveis independentes do modelo.

Figura 5.5: Rotina do R para padronização e conversão para o formato ASCII dos fatores

```
##Parâmetros de Padronização
projection <- "+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0 +units=m
+no_defs"
ext <- extent(535569.9, 659859.9, 7734485, 7892235)

##Variável n (com n variando de 0 ao número de fatores)
assign(paste0("n_", "raw"), raster("arquivo_n.tif"))
assign(paste0("n_", "projected"), + projectRaster(n_raw, crs=projection))
assign(paste0("n_final"), n_projected)
n_extended <- extend(n_final, ext, value=NA)
n_final_re <- resample(n_final, 0_final)
n_tend <- extend(n_final_re, ext, value=NA)
writeRaster(n_tend, filename="novo_arquivo_n.asc", format="ascii", overwrite=TRUE)
```

5.2 Verificação da correlação espacial

Os fenômenos urbanos, em geral, possuem alta correlação espacial, não apenas correlação linear, justificando assim a modelagem espacial de fenômenos urbanos ao invés de modelos tradicionais (Le Sage & Pace, 2009). O Índice de Moran Bivariado é a maneira mais comum de se verificar a existência de correlação espacial entre duas variáveis e sua formulação completa pode ser encontrada nos trabalhos de (Anselin, 1995)Anselin (1995), e analisa a relação entre a covariância e a variância dos elementos (Meliciani & Peracchi, 2009).

Para esta dissertação foi utilizado o pacote “elsa” (Naimi *et al.*, 2020), que foi desenvolvido exclusivamente para tratar de problemas de distribuição de espécies, sendo preparado para utilizar os dados nos formatos considerados para a modelagem e mais informações podem ser encontradas em Naimi *et al.*, 2019. A rotina utiliza o arquivo em *shapefile* com as coordenadas geográficas do fenômeno “Armazéns” e o arquivo *raster* de cada fator para calcular o Índice de Moran Bivariado para o raio de influência estabelecido na rotina ilustrada na Figura 5.6. Para esse caso foram estabelecidas as distâncias de 2,5km, 5,0km e 10,0km. É esperado que quanto maior o raio, menor o valor do índice, ou seja, menor a correlação espacial. Ainda, a partir de

10,0km é aceitável que não se encontre correlação espacial e ainda sim se considere o fator explicativo do fenômeno. Essa etapa é fundamental para modelos espaciais pois é a partir dela que se identifica se os fatores considerados na modelagem realmente possuem correlação espacial com o fenômeno, ou seja, se na modelagem espacial esses fatores ainda são explicativos do fenômeno.

Figura 5.6: Rotina do R para obtenção do Índice Moran I

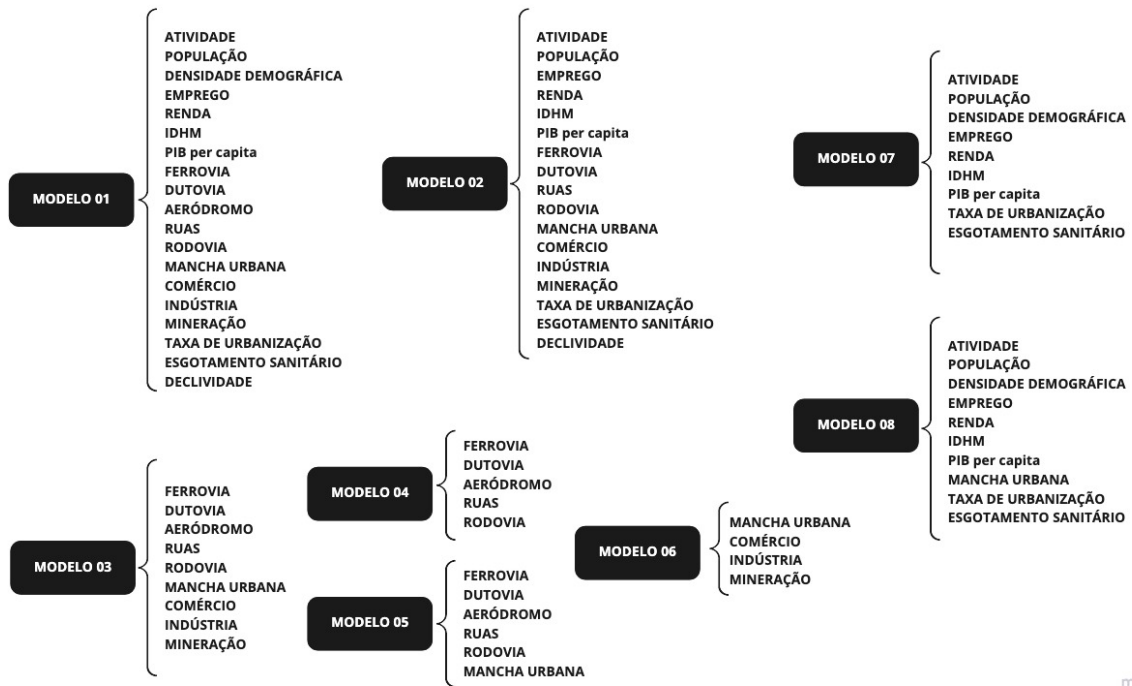
```
mI_fator_2500 <- elsa::moran(x = 'fator', y= 'armazem', d2 = 2500, d1 = 0, method = "I")
mI_fator_5000 <- elsa::moran(x = 'fator', y= 'armazem', d2 = 5000, d1 = 0, method = "I")
mI_fator_10000 <- elsa::moran(x = 'fator', y= 'armazem', d2 = 10000, d1 = 0, method = "I")
```

5.3 Definição dos modelos

Com os dados disponíveis para a modelagem, nessa dissertação foram estimados oito modelos para verificar o efeito dos fatores na localização dos ALs e como as diferentes interações entre eles interferem na probabilidade de localização dos mesmos. O intuito desse trabalho não é obter o melhor modelo, mas compreender o fenômeno e avaliar a aplicabilidade do modelo em políticas públicas. A Figura 5.7 ilustra as variáveis consideradas nos oito modelos estimados nesse trabalho.

O modelo 01 não exclui os fatores com colinearidade, pois nele busca-se investigar como todos os fatores interagem entre si em um primeiro momento, apenas a partir do segundo modelo que são excluídos os fatores com colinearidade. O modelo 02 possui apenas os fatores que não possuem colinearidade entre si após análise do VIF. O modelo 03 considera os fatores do grupo ST e US que passaram no teste de colinearidade. O modelo 04 possui apenas os fatores do grupo ST enquanto o modelo 05 acrescenta ao modelo 04 o fator “Mancha Urbana”, sendo que para ambos os modelos só permanecem os fatores que não apresentam colinearidade entre si. O modelo 06 é referente aos fatores do grupo US, que também não apresentaram colinearidade no teste VIF. Por fim, o modelo 07 possui os fatores do grupo SO e o modelo 08 acrescenta o fator “Mancha Urbana” a esse grupo, sendo que só ficam os fatores que não apresentam colinearidade entre si.

Figura 5.7: Fatores considerados nos modelos estimados



miro

5.3.1 Verificação da colinearidade

É necessário investigar a colinearidade entre os fatores para evitar ambiguidade e instabilidade no modelo (Dormann, et al., 2012). Entretanto, a colinearidade existe no contexto urbano. Como exemplo, é impossível pensar na existência de um AL sem qualquer tipo de infraestrutura de transporte. Ainda, é esperada alta correlação entre os dados socioeconômicos e de infraestrutura urbana, que foram obtidos a nível municipal. Altos valores de colinearidade são um problema se os resultados do estudo forem utilizados para extrapolação além da área de estudo e para projeção de dados (Thuiller, 2004), o que não é o caso desse estudo, pois as estimativas são feitas apenas para a RMBH, mesma área para qual foram obtidos os fatores.

Para este trabalho foi escolhido a técnica de Fator de Inflação da Variação - VIF (do inglês *Variance Inflation Factor*). Esse fator é a medida da quantidade de multicolinearidade em um conjunto de dados. O fator é calculado pela Equação 8. O menor valor possível de se obter é 1 e indica que não há colinearidade. A partir do valor 10 se considera que há colinearidade no banco de dados (Chatterjee & Hadi, 2006).

$$VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2} \quad (8)$$

Em que:

VIF_j = Fator de Inflação da Variação de cada fator

R_j^2 = quadrado do coeficiente de correlação múltipla quando o fator X_j é regredida contra todos os outros fatores

j = fator

Com o auxílio do *software* R foram executadas duas rotinas distintas. A primeira apenas para o modelo 01 e a segunda para o restante dos modelos. Todas elas utilizaram o pacote “usdm” (Naimi, 2017), também desenvolvido para auxiliar nos problemas de distribuição de espécies, sendo assim compatíveis com os fatores em formato *raster*. A primeira rotina (Figura 5.8) calcula o VIF de toda a base de dados e fornece o valor do fator como resultado. A segunda rotina (Figura 5.9) exige que se coloque um limite para o qual considera se a existência de colinearidade no banco de dados, tendo sido escolhido o valor 10, e a rotina elimina o fator com maior valor de VIF. O algoritmo realiza este procedimento até que os fatores restantes tenham VIF inferior ao limite estabelecido e a rotina retorna os valores do VIF dos fatores restantes que não possuem colinearidade.

Figura 5.8: Rotina para cálculo do VIF sem estabelecer limite de valor de colinearidade

```
raster_modelo_x <- usdm::brick(raster_1, raster_1, raster_n)
vif_modelo_x <- usdm::vif(raster_modelo_x)
```

Figura 5.9: Rotina para cálculo do VIF estabelecendo limite para valor de colinearidade

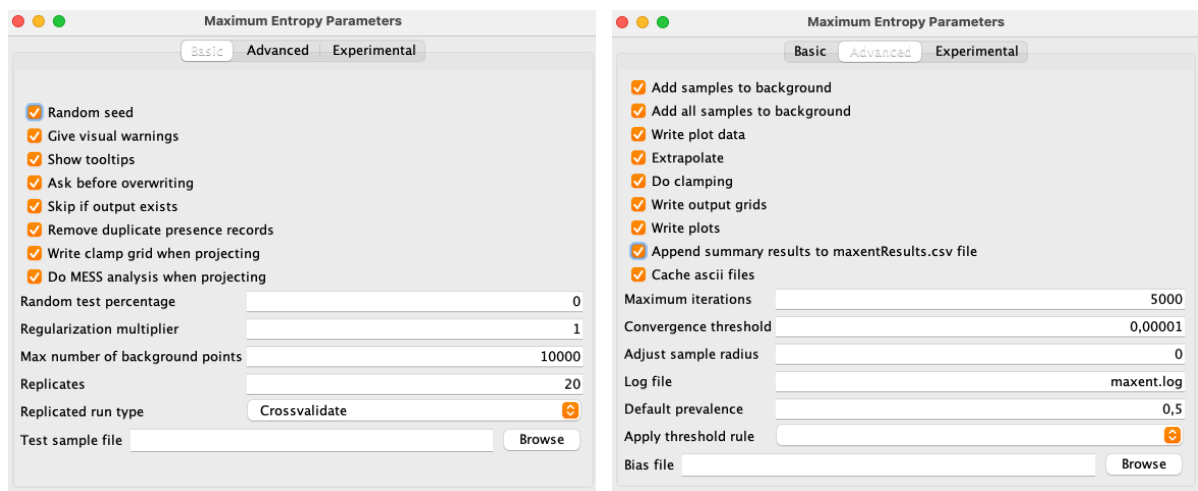
```
raster_modelo_x <- usdm::brick(raster_1, raster_1, raster_n)
vif_modelo_x <- usdm::vifstep(x = raster_modelo_x, th =10)
```

5.3.2 Estimação do MME do Modelo de Máxima Entropia (MME)

O *software* MAXENT foi utilizado neste estudo pela facilidade de estimação do MME. Contudo, vale informar, que poderia ser utilizado o *software* R. No software MAXENT foram inseridos o arquivo *csv* com as coordenadas dos ALs e uma pasta contendo os arquivos correspondentes às variáveis explicativas (fatores) em formato *asc*. Nessa primeira análise, todos os fatores são contínuos. Para validação do modelo foi estabelecido nas configurações da

modelagem que a técnica de validação cruzada das amostras “*sampling cross validation*”, pois ela é a técnica mais recomendada para modelos em que existe alta correlação espacial do banco de dados, como é o caso deste estudo (Hijmans, 2012). Também foi definido o teto de 5000 interações para se obter a distribuição final caso a convergência dos resíduos não atinja o valor mínimo de limiar de 0.00001. Também, foi configurado que o procedimento seria replicado 20 vezes. A configuração de modelagem pode ser observada na Figura 5.10.

Figura 5.10: Interface de configurações de modelagem do MAXENT



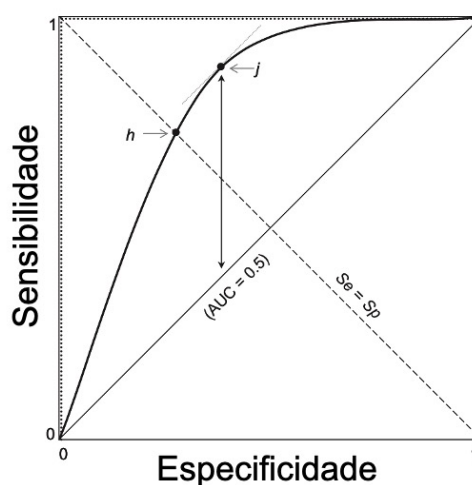
5.3.3 Verificação da acurácia do MME

A primeira análise realizada considerou as 20 repetições do MME. Para tanto foram utilizadas representações cartográficas, com o auxílio do *software* QGIS. O MAXENT elabora arquivos no formato ASCII com a média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão e intervalo de confiança (IC) inferior, que foram exportados para o QGIS e os valores foram agrupados em dez quartis, para assim poder se ter uma representação melhor das probabilidades. O esperado é que as representações cartográficas de média, mediana, máximo e mínimo sigam o mesmo padrão de cores do intervalo de confiança inferior, e que o desvio padrão seja pequeno.

Para modelos de *machine learning*, assim como é o caso do MME, a maneira mais comum de avaliar a acurácia dos modelos e atestar sua validade é analisar o formato da curva Característica de Operação do Receptor (do inglês *Receiver Operator Characteristic* - ROC) e o cálculo da Área Abaixo da Curva (do inglês *Area Under the Curve* - AUC) como critério para comparação entre modelos. A curva ROC é uma comparação entre a taxa de verdadeiros positivos e dos falsos negativos, que aqui nesse estudo são chamados de sensibilidade e especificidade,

respectivamente. A curva ROC une os pontos (0,0) e (1,1), crescendo de maneira monolítica e convexa, sendo que quanto mais próxima do ponto (0,1) mais preciso é o modelo. A Figura 5.11 ilustra como é o formato de uma curva ROC idealizada, e levando em consideração a característica ideal da curva, de se localizar próxima ao canto superior esquerdo, percebe-se que o valor próximo a 1.0 para o AUC corresponde a modelo cuja área abaixo da curva é maior, sendo assim o modelo é mais preciso, e quanto maior seu valor, melhor é o modelo na comparação com outro em um processo de escolha (Jiménez-Valverde, 2012).

Figura 5.11: Exemplo de curva ROC idealizada (Fonte: Jiménez-Valverde, 2012 - Adaptado)



É necessário ressaltar que encontrar valores baixos de AUC não indica que o MME deve ser descartado, pois muitos modelos possuem altas áreas de omissões, sendo assim o $AUC_{máx}$ pode ser inferior a 1.0, pois este depende dessas áreas omissas, conforme demonstrado por (Willey *et al.* 2015). Assim, quanto maior a área com omissões, menor o valor $AUC_{máx}$. Contudo, essa análise só será realizada quando o AUC for inferior a 0.5. No MAXENT, o AUC segue a formulação desenvolvida por Philips *et al.* (2006).

Por fim, outra maneira de analisar o modelo é observar o ganho do mesmo durante o teste e o treinamento. Para tanto, o MAXENT fornece gráficos de barras acumuladas de *jackknife*, que demonstram o ganho do modelo com apenas o fator sendo considerado no modelo e o ganho que o modelo global possui que o modelo possui o fator ser incluído no modelo. Quanto maior o ganho significa que o modelo se aproxima mais da realidade (Mosteller & Tukey, 1977).

Também são avaliadas as curvas responsivas (*response curves*) do modelo. O *software* fornece dois tipos de curva responsiva: uma que considera o fator como único contribuinte do modelo

e outra que avalia o efeito marginal do fator no modelo global. A primeira curva demonstra como seria um MME hipotético em que o fator selecionado seria o único fator como variável independente (fator) do mesmo e demonstra como o fator influencia no valor da estimação da probabilidade do MME. O efeito marginal é um conceito utilizado na econometria espacial para avaliar modelos econométricos espaciais e indica como uma alteração no valor do fator pode alterar o resultado estimado pelo modelo econométrico (Le Sage & Pace, 2009). Assim, as curvas responsivas de efeito marginal mostram como a mudança no valor de um fator pode influenciar no valor do modelo global do modelo. Nesse estudo foram consideradas as curvas responsivas para as 20 repetições, sendo possível observar a média das curvas responsivas e a amplitude das mesmas com as repetições.

5.3.4 Verificação das hipóteses de estudo

Algumas hipóteses de estudo foram elaboradas baseando-se nos estudos de espraiamento urbano de Jaller *et al.* (2017) e de economias de aglomeração de Sanfelici (2016). Para a verificação das hipóteses foi utilizada a representação cartográfica da média dos valores estimados do MME e foi cruzado a base cartográfica em formato *shapefile* correspondente a hipótese de pesquisa representado na Figura 5.12. A hipótese é confirmada quando os valores estimados do MME coincidem com a representação cartográfica dos fatores analisados.

Figura 5.12: Relação entre hipóteses de estudo e bases cartográficas para verificação das hipóteses



miro

5.4 Diretrizes para elaboração de políticas públicas

Por fim, para a elaboração das diretrizes de políticas públicas foi escolhido o modelo com maior AUC dentre os modelos 02 a 08, que não possuem colinearidade entre os fatores. A partir disso, a RMBH foi subdividida em seis regiões cujos resultados apresentavam semelhança, para melhor observar os resultados da modelagem. Cada região foi analisada a partir da ótica do desenvolvimento sustentável da região, numa visão holística do TUC e de vitalidade urbana. Algumas diretrizes foram elaboradas com o foco de reduzir as externalidades do TUC e atrair novos ALs, se necessários.

6 ÁREA DE ESTUDO: A REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

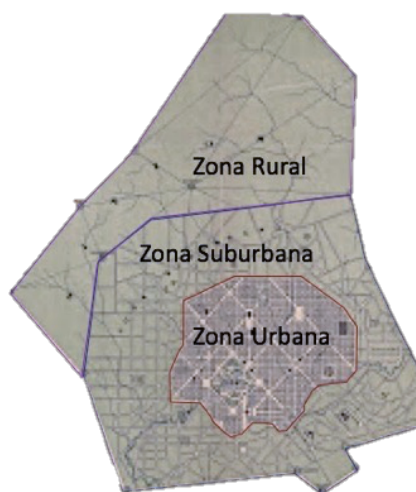
Essa seção apresenta o processo de formação da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e uma análise sobre seus indicadores socioeconômicos. Essa seção também apresenta a relevância que RMBH têm no contexto brasileiro por meio de indicadores socioeconômicos.

6.1 Do surgimento de sua metrópole à construção de um espaço fragmentado

Para entender criação de uma região metropolitana deve ser remontada a criação histórica de sua metrópole e como se estabeleceram as relações dela com as cidades de seu entorno. Criada para ser a nova capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte foi idealizada por Aarão Reis e construída sobre o antigo Arraial de Belo Horizonte, sendo inaugurada em 12 de dezembro de 1897. Seu projeto foi concebido a partir de ideais positivistas e republicanos, em que o espaço deveria ser ordenado por um traçado geométrico de vias, acompanhado de controle legislativo do espaço urbano e sua setorização funcional, sendo acompanhado dos ideais higienistas. Com isso, Aarão Reis se inspirou no plano de *La Plata* para Buenos Aires, no plano de Hausmann para Paris e no plano de *L'Énfant* para Washington (Tonucci Filho, 2012).

A cidade se instalou, então, no vale do Ribeirão Arrudas, que corta a cidade no sentido leste-oeste e é delimitada ao sul pela Serra do Curral. A linha de ferro da Estrada de Ferro Central do Brasil se instalou no leito do ribeirão, sendo inaugurada, em 1895, a Estação de Minas, sendo que a linha troncal ligando a cidade a Sabará foi fundamental para o transporte de materiais para a construção da cidade (Villaça, 2001). Belo Horizonte foi dividida em três zonas, a Urbana, a Suburbana e a Rural, conforme ilustrada na Figura 6.1. A população mais pobre passou a residir na periferia da zona suburbana, a população mais rica na zona urbana e a zona suburbana concentrou a população de menor renda. O município se constituiu, assim, de um mosaico de duas partes bem distintas: a rica zona urbana com as instalações burocráticas com acesso à infraestrutura urbana e serviços de transporte coletivo, enquanto a zona suburbana carecia desses serviços, por não estarem contidas no interior da avenida do Contorno, delimitador da Belo Horizonte planejada. (Tonucci Filho, 2012).

Figura 6.1: Projeto Urbanístico de Belo Horizonte. (Fonte: Adaptado de Jorgensen Jr (2013))



A Primeira Guerra Mundial trouxe consigo a primeira grande crise de Belo Horizonte, pois as obras cessaram, em virtude da não importação dos materiais de construção, trazendo o desemprego e a emigração dos operários desempregados (Minas Gerais, 1986). Com o fim da Guerra, veio sua retomada econômica, consolidando a capital mineira como centro administrativo e trouxe uma incipiente indústria de bens de consumo não duráveis para a região (Minas Gerais, 1986). Entretanto, o crescimento das décadas de 1920 e 1930 contribuíram para acentuar os diferentes fenômenos populacionais que ocorreram nas diferentes porções do espaço. É necessário ressaltar o fenômeno populacional que ocorreu na porção oeste da capital, fora da cidade planejada, onde houve a dispersão das periferias, fomentado pela criação do novo canal da Estrada de Ferro Oeste Minas, onde se instala a atividade fabril (Tonucci Filho, 2012).

Belo Horizonte entra na era industrial com a criação da Zona Industrial de Belo Horizonte, em 1936, mas não obteve o sucesso esperado. Enquanto isso, no município adjacente, Contagem, a Zona Industrial Juventino Dias foi criada em 1942 (Tonucci Filho, 2012). Foi a partir das iniciativas do Presidente da República Juscelino Kubitschek (1951-1955) que Minas Gerais, em especial Belo Horizonte, experimentou seu real desenvolvimento da era Moderna, com a criação da Companhia Energética Mineira (CEMIG), a pavimentação das rodovias ligando a capital mineira aos centros São Paulo e Rio de Janeiro, e a construção do Anel Rodoviário de Belo Horizonte. Também são projetos desse período a modernização da agricultura, a implantação da Companhia de Armazéns e Silos do Estado de Minas Gerais (CASEMIG) e da Companhia Agrícola de Minas Gerais (CAMIG), além da implantação de uma área industrial no município de Santa Luzia, adjacente à Belo Horizonte (Tonucci Filho, 2012).

Na década de 1960, Belo Horizonte e o que seria chamado futuramente de Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) se consolidaram com o crescimento e estabilização da indústria de bens de consumo intermediários para atender os polos São Paulo e Rio de Janeiro, agora interligados por rodovia pavimentada (Tonucci Filho, 2012). Para além de Belo Horizonte, os anos seguintes foram marcados pelo crescimento econômico dos municípios vizinhos, com a instalação da FRIMISA no Distrito Industrial de Contagem (década de 1950), a instalação da Celite e da Klabin na região de Bicas para explorar a matéria prima local, a Cauê em Pedro Leopoldo e a Itaú em Vespasiano para explorar o calcário, e por fim, a implantação da Refinaria Gabriel Passos da Petrobrás (1967) em Betim (Tonucci Filho, 2012). O minério de ferro também possui lugar de destaque na microrregião, por estar localizada no quadrilátero ferrífero. O minério passa a ser oficialmente explorado na região a partir do Decreto de Lavra, sobre a Serra do Curral e a Serra do Rola Moça, em 1973.

As décadas de 1960 e 1970 foram marcadas por intenso crescimento econômico, não só de Belo Horizonte, mas da região. Em conjunto com o crescimento econômico a concentração de capital e renda intensificaram o processo de ocupação desigual do que seria o espaço metropolitano, marcado pela aglomeração de grandes estruturas como a Cidade Industrial de Contagem, o Parque Siderúrgico de Betim e a Cidade Industrial de Santa Luzia, enquanto Belo Horizonte concentrou o desenvolvimento e a dinamização do setor de serviços. O final da década de 1970 também foi marcado pela chegada da fábrica da FIAT em Betim, que mobilizou toda uma cadeia produtiva em seu entorno, nos anos que seguiram a inauguração da fábrica (1976) (Tonucci Filho, 2012). Nesse período também, Santa Luzia se consolida como uma cidade industrial, assim como Pedro Leopoldo e Vespasiano, com a instalação de grandes indústrias cimenteiras em seu território. A exploração do minério de ferro também se intensifica, principalmente nos municípios de Nova Lima e Ibirité, levando a uma degradação da Serra do Curral. Estabelecimentos atacadistas como MAKRO e CEASA também se instalaram nas margens dos principais eixos viários da região (Tonucci Filho, 2012).

A década de 1970 marcou a formação de aglomerações metropolitanas fora do espaço de sua metrópole, sendo que entre 1972 e 1976, 63% dos novos loteamentos foram nos municípios de Betim e Nova Lima, direcionados para as classes mais abastadas da sociedade. Essa expansão foi a resposta encontrada pelo setor imobiliário aos mecanismos de controle da Plambel (Planejamento da Região Metropolitana) que elevaram os custos para novos empreendimentos

em Belo Horizonte. Assim os mais abastados se dirigiram para fora da metrópole e a classe média avançou, com a verticalização, para as áreas mais antigas consolidadas pela população mais pobre no período de construção de Belo Horizonte (Tonucci Filho, 2012). Em 1973, Belo Horizonte passou a ser a metrópole da RMBH, sendo considerada uma região metropolitana de primeira geração pois é uma das 9 regiões metropolitanas que foram criadas pela Lei Complementar de 14 de Junho de 1973 (Davidovich, 2003).

As décadas de 1960 e 1970 foram marcadas, também, pela carência de infraestrutura e programas de habitação para a população mais carente. Sendo assim, um intenso processo de favelização e ocupações tomou conta de regiões como Ribeirão das Neves, Igarapé e Ibirité, que foram convertidas em cidades-dormitório dos menos abastados. A primeira mancha conturbada da RMBH surge no vetor norte, com a conurbação da capital mineira com Ribeirão das Neves, Santa Luzia e Vespasiano, sendo marcada pela carência de infraestrutura urbana e essas cidades se tornando cidades-dormitório (Tonucci Filho, 2012). Durante esse período foi possível observar que o crescimento demográfico e a expansão territorial da RMBH eram mais intensas nas cidades periféricas que na metrópole. Além da área já conurbada, o processo de metropolização se estendeu para Sabará, Nova Lima, Betim e Contagem.

Com o passar dos anos, Belo Horizonte se consolidou como uma centralidade importante, enquanto as cidades do entorno se tornaram cidades-dormitório em face à especulação imobiliária. A região metropolitana que em 1974 contava com 14 municípios sofreu 5 adições, contando com 38 municípios em 2002. Essas adições, em muitos casos, foram feitas a partir de critérios políticos. A evolução da inserção de municípios à RMBH até sua conformação atual pode ser observada na Figura 6.2. Sendo assim a RMBH constitui-se de um espaço metropolitano com grandes disparidades e municípios pouco integrados, além de contar com uma mancha urbana fragmentada.

Essa fragmentação do espaço fica explícita na Figura 6.3, que demonstra a continuidade da mancha urbana apenas em alguns municípios. A malha urbana não só é fragmentada em relação a metrópole, mas em muitos trechos é possível observar a descontinuidade da mancha urbana em municípios fronteiriços. Tal falta de integração física acarreta dificuldade de identificação de quais serviços são comuns à região como um todo. O estudo realizado por Faria (2012) indica que 11 dos 34 municípios possui interação baixa ou muito baixa, podendo ser considerados espaços não metropolitanos, e 10 municípios possuem interação média. Com isso,

o autor considera que a RM é “inchada” em função da grande quantidade de membros não metropolitanos.

Figura 6.2: Construção do espaço da RMBH

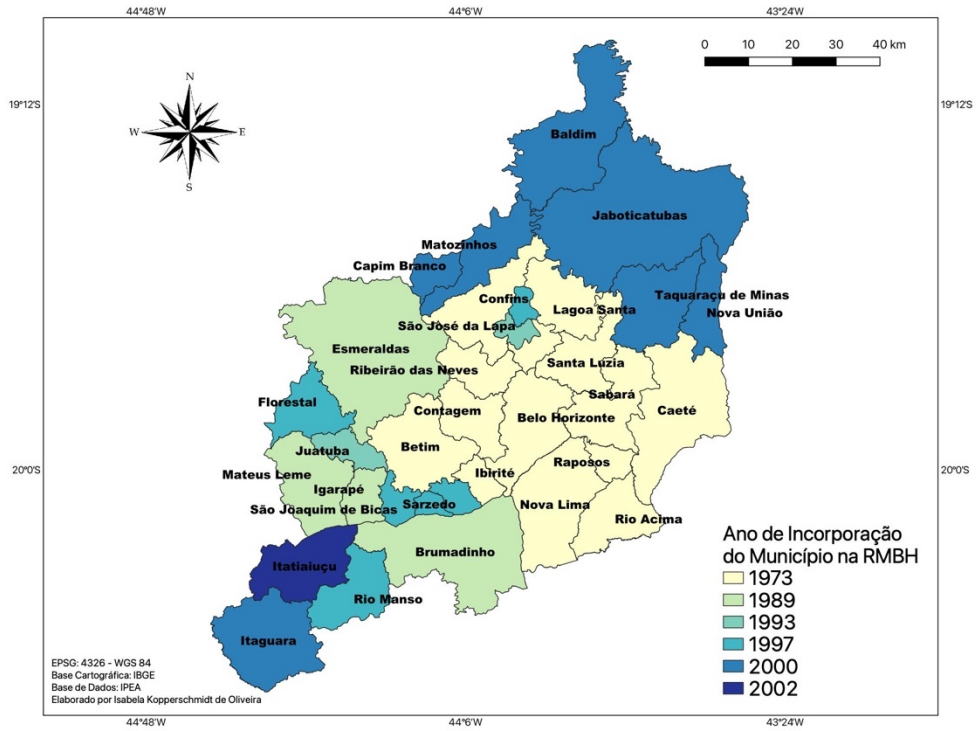
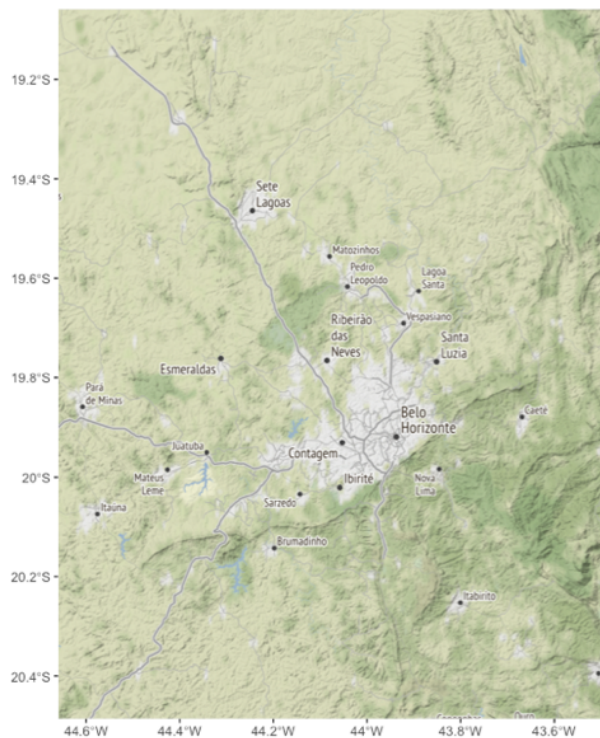


Figura 6.3: Mapa aéreo da RMBH (Fonte: Openstreetmap Foundation - Maio, 2020)



A Figura 6.4 evidencia o poder que a tríade Belo Horizonte, Betim e Contagem possuem na RMBH. São os municípios com o maior PIB, sendo que a capital mineira, sozinha, tem participação no PIB superior a 47%, e se somadas, os três municípios são responsáveis por quase 75% do PIB. Essa grande diferença no valor do PIB faz com que esses municípios polarizem os recursos e as discussões na instância metropolitana. No entanto, o maior PIB do município não indica o maior PIB *per capita* conforme ilustrado na Figura 6.5. Os municípios Confins, Nova Lima e Itatiaiuçu são os municípios com maior PIB *per capita*, e respectivamente possuem o 18º, 5º e 20º PIB da RMBH. A diferença entre os extremos dos municípios é significativa, sendo que o PIB *per capita* de Confins chegou a ser 15 vezes maior que o de Capim Branco, município com menor valor nesse indicador. Para o PIB municipal essa diferença é mais acentuada que para o PIB *per capita* em que os polos Belo Horizonte, Contagem e Betim concentram boa parte do PIB da RMBH, assim como da população. O PIB de Belo Horizonte é 3 vezes superior ao de Contagem, município com o segundo maior PIB da RMBH.

Figura 6.4: PIB, 2015 (Fonte de dados: IPEA, 2020)

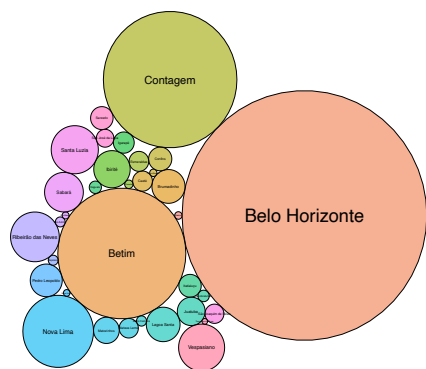
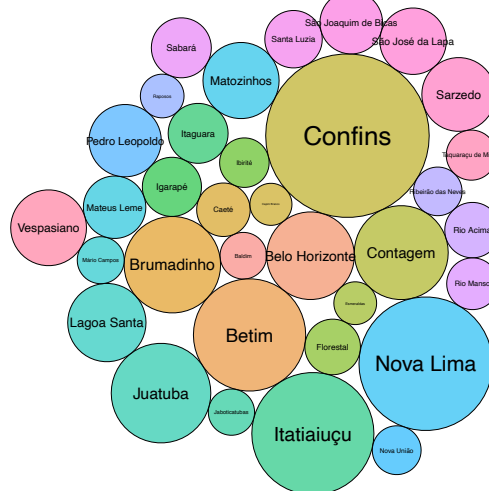


Figura 6.5: PIB *per capita*, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020)



A mesma diversidade encontrada no PIB também pode ser observada para a população. Apenas 8 dos 38 municípios concentram mais de 80% da população da RMBH, sendo que a metrópole concentra mais da metade desse valor e chega a ser mais de 600 vezes maior que o menor município da região, conforme ilustrado na Figura 6.6. Assim como o PIB, os três municípios com maior população são Belo Horizonte, Contagem e Betim. Ainda, 80% da população urbana se encontram em 7 municípios da RMBH (Figura 6.7).

Figura 6.6: População Total, 2016 (Fonte de dados: IPEA, 2020)

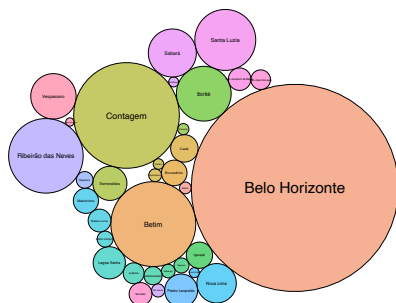
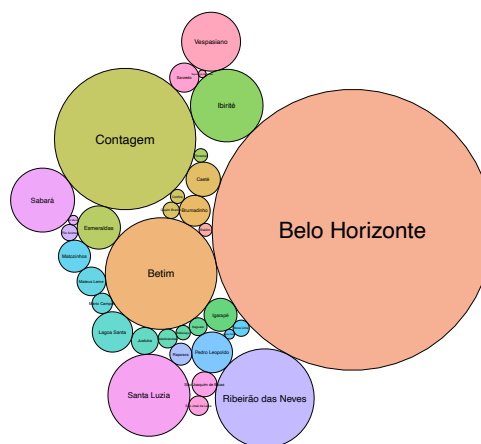


Figura 6.7: População Urbana, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020)



Por serem índices que variam de 0 a 1, a diferença pelo gráfico não se torna visível para os indicadores Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). O IDHM considera as dimensões longevidade, educação e renda em sua composição, e quanto mais próximo de 1,0, maior o desenvolvimento humano do local (PNUD, 2010). Em contrapartida, o IVS avalia as dimensões infraestrutura urbana, capital humano e renda e trabalho, sendo que quanto mais próximo de 1,0, maior a vulnerabilidade do local (Brasil, 2015). Assim, esses dois índices são complementares, mas devem ser interpretados de maneiras opostas, sendo que o ideal é que o IDHM esteja próximo a 1,0 e o IVS se aproxime de 0.

Na RMBH, o IDHM (Figura 6.8) varia de 0,65 a 0,81, sendo que o maior valor é observado nos municípios de Nova Lima e Belo Horizonte enquanto o menor IDHM é observado em Rio Manso e Taquaraçu de Minas. Dos 34 municípios da RMBH, 13 municípios possuem IDHM medianos (0.600 a 0.699), 23 possuem IDHM altos (0.700 a 0.799) e apenas 2 possuem IDMH muito altos (>0.800), de acordo com a classificação Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. O IVS (Figura 6.9) varia de 0,18 a 0,40, sendo o menor valor observado no município Confins e o maior valor observado em Esmeraldas. De acordo com a classificação do IPEA, 23 municípios possuem vulnerabilidade mediana (0.300 – 0.400), 13 apresentam IVS baixos (0.200 – 0.300) e 2 municípios apresentam IVS muito baixos (> 0.200). Alguns dos municípios com os piores valores de IVS possuem os piores valores de IDHM, como Baldim, Esmeraldas

e Taquaraçu de Minas. Ainda, é possível perceber que a maioria dos municípios possui menor classificação no IVS que no IDHM, evidenciando a precariedade de infraestrutura, resultado do espraiamento da população desacompanhado dos devidos investimentos em infraestrutura.

Figura 6.8: IDHM, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020)

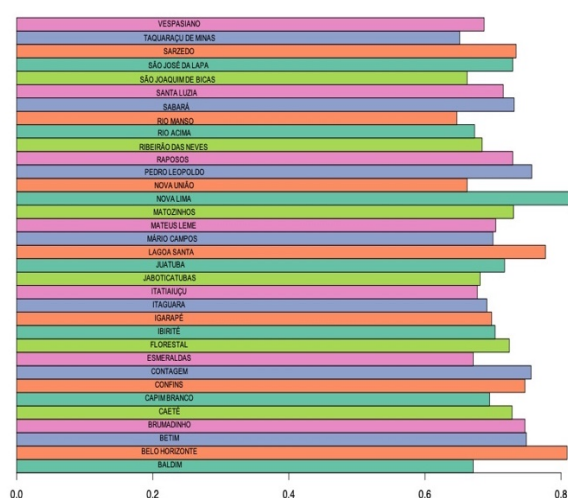
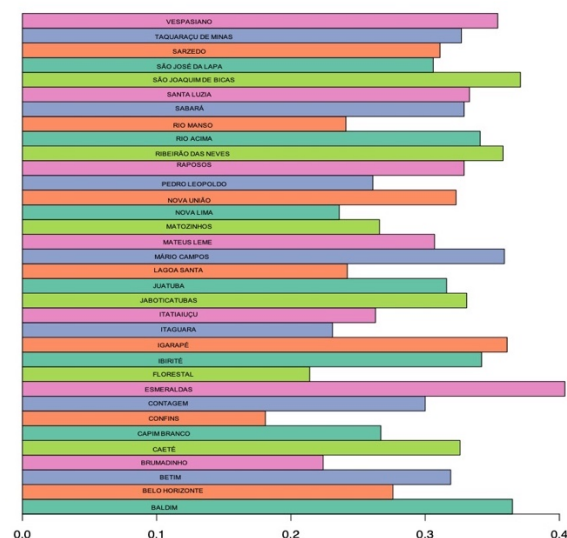


Figura 6.9: IVS, 2010 (Fonte de dados: IPEA, 2020)



6.2 O arcabouço institucional da metrópole

Na mesma Lei Complementar de criação das regiões metropolitanas ficou estabelecido que os Estados eram os responsáveis pela implementação das mesmas (Brasil, 1973). Assim, em 1974 foi criado o Planejamento da Região Metropolitana (Plambel), como um centro de especialistas em planejamento metropolitano para atuar em conjunto com os Conselhos Deliberativos e os Conselhos Consultivos, previstos na legislação de 1973 e que não chegaram a atuar em conjunto. O Plambel chegou a atuar até a meados da década de 1980. Sua estrutura, com o poder de decisão centralizado no governo estadual e sem dar a devida atenção aos governos municipais, idealizada no contexto de ditadura militar, não teve continuidade frente ao poder dado aos municípios na Constituição Federal de 1988 (Pereira & Brasil, 2009). Como resposta ao crescente esvaziamento da pasta relativa aos assuntos metropolitanos, em 1989 foi instituída a Assembleia Metropolitana, considerada a segunda experiência de gestão da RMBH. Ela não se mostrou eficiente, pela dificuldade de concordância entre os municípios de maior porte com os municípios de menor porte (Pereira & Brasil, 2009).

O mais novo modelo de gestão metropolitana, implantado na RMBH é composto por três pilares: a Agência de Desenvolvimento da RMBH, o Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano e a Assembleia de Desenvolvimento Metropolitano. O primeiro se constitui em uma entidade de direito público, que se consolida como uma autarquia

territorial com autonomia administrativa e financeira. O segundo é uma composição de representantes dos governos e da sociedade para formar essa instituição. Por fim o terceiro pilar é um fórum compostos por representantes de todos os municípios que compõem a RMBH. O novo arranjo metropolitano conta com o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano com participação estadual (50%) e municipal (50%), bem como com o Plano Diretor de Desenvolvimento Metropolitano (PDDI) (Pereira & Brasil, 2009), estabelecidos pela Constituição Mineira de 1989.

A Constituição de 1989 do Estado de Minas Gerais (CM) (Minas Gerais, 1989) estabelece que compete ao Estado a instituição de região metropolitana, aglomeração urbana e microrregião (artigo 10º). Sua seção VIII discorre sobre a regionalização do estado mineiro, que segue o direcionado na Constituição Federal de 88. O artigo 44º discorre sobre os critérios para estabelecimento das RM's mineiras, sendo eles:

- I. população e crescimento demográfico, com projeção quinquenal;*
- II. grau de conurbação e movimentos pendulares da população;*
- III. atividade econômica e perspectivas de desenvolvimento;*
- IV. fatores de polarização;*
- V. deficiência dos serviços públicos, em um ou mais Municípios, com implicação no desenvolvimento da região.*

A inclusão de novos municípios fica, então, condicionada a estudos técnicos prévios. Cabe ressaltar que, para a Constituição Mineira, uma RM está condicionada a continuidade do tecido urbano e complementaridade de funções urbanas com a metrópole, mesmo tendo sido observado que o mesmo não ocorreu no processo de expansão da RMBH. Cada região metropolitana deve conter, então:

- I. uma Assembleia Metropolitana;*
- II. um Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano;*
- III. uma Agência de Desenvolvimento, com caráter técnico e executivo;*
- IV. (Vide Lei Complementar nº 107, de 12/1/2009.)*
- V. um Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado;*
- VI. um Fundo de Desenvolvimento Metropolitano. (art. 46)*

A Assembleia Metropolitana é “o órgão colegiado de decisão superior e de representação do Estado e dos municípios” (art. 46, inciso 1º) com competência para “definir as macrodiretrizes

do planejamento” (art. 46, inciso 1º) da RM e vetar resoluções do Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano. Esse último é o órgão colegiado da RM que tem a competência de deliberar sobre o planejamento das funções públicas de interesse comum, assim como elaborar suas normas, aprovar regras de compatibilização entre a legislação metropolitana e a municipal, deliberar sobre a gestão do Fundo de Desenvolvimento Metropolitano (FDM) e provocar a elaboração de Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI).

A CM também garante que há representação paritária entre o estado de Minas Gerais e os municípios das RMs na Assembleia Metropolitana. Ela também assegura a participação do Estado, dos municípios e da sociedade civil no Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano. Por fim, também ficou instituído o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano (FDM), cujo objetivo é “financiar os planos e projetos da região metropolitana, em consonância com o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI)” (art. 47). As últimas menções a RM na CM se deve ao poder da Assembleia Legislativa sobre as RMs. Ela deve apreciar os planos de desenvolvimento e programa de obras das RMs (art. 60), e deve dispor sobre normas gerais no que toca o planejamento e execução das funções públicas de interesse comum dos municípios membros das RMs (art. 61).

A Lei Complementar (LC) nº 88 de 12 de janeiro de 2006 (Minas Gerais, 2006a) discorre sobre a instituição e a gestão da RM, além da instituição do Fundo de Desenvolvimento Metropolitano. As diretrizes para criação de RMs seguiu as orientações da CM, mas trouxe em si mais detalhes e itens inéditos. É nessa lei que é explicitada a divisão de instrumentos de planejamento (PDDI e FDM) e instrumentos de gestão (Assembleia Metropolitana, Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano e Agência de Desenvolvimento Metropolitano) e que o PDDI deverá conter diretrizes relacionados ao desenvolvimento econômico e social daqueles funções de interesse comuns, servindo de orientação aos planos diretores municipais, sendo que dele os municípios integrantes da RM têm o direito de participar de sua elaboração, com representação civil e pública.

A LC 88/2006 pontua que a gestão metropolitana deve seguir os seguintes 6 princípios:

- I. redução das desigualdades sociais e territoriais;*
- II. construção e reconhecimento da identificação metropolitana;*
- III. subsidiariedade dos Municípios em relação ao Estado quanto às funções públicas de interesse comum;*

- IV. poder regulamentar próprio da região metropolitana, nos limites da lei;*
- V. transparência da gestão e controle social;*
- VI. colaboração permanente entre o Estado e Municípios integrantes da Região Metropolitana. (art. 4º, LC 88/2006)*

Dos artigos nº 18 ao 25, fica normalizado o FDM. Cada RM corresponde a uma subconta do fundo, sendo que podem ser beneficiados aqueles responsáveis por estudos, projetos ou investimentos relacionados a RM. Esse fundo é constituído de 50% de capital estadual e 50% de capital municipal, sendo que esse último a contribuição é proporcional à receita recorrente líquida de cada município.

A Lei Complementar 89 de 12 de janeiro de 2006 (Minas Gerais, 2006b), que substituiu a Lei Complementar nº26 de 14 de janeiro de 1993 discorre especificamente sobre a RMBH. Nele passam a integrar a RMBH os municípios Baldim, Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Capim Branco, Confins, Contagem, Esmeraldas, Florestal, Ibirité, Igarapé, Itaguara, Itatiaiuçu, Jaboticatubas, Juatuba, Lagoa Santa, Mário Campos, Mateus Leme, Matozinhos, Nova Lima, Nova União, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Rio Manso, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Sarzedo, Taquaraçu de Minas e Vespasiano. Também fica instituído o Colar Metropolitano (CRMBH) que considera municípios do entorno da RMBH que são atingidos pelas externalidades positivas e negativas da mesma. O CRMBH passa a ser composto pelos municípios Barão de Cocais, Belo Vale, Bonfim, Fortuna de Minas, Funilândia, Inhaúma, Itabirito, Itaúna, Moeda, Pará de Minas, Prudente de Moraes, Santa Bárbara, São José da Varginha e Sete Lagoas.

Essa LC traz em seu corpo as funções públicas de interesse comum dos municípios membros da RMBH, trazendo no artigo 8º a abrangência dos órgãos de gestão metropolitana. Algumas funções públicas de interesse comum podem ser citadas como: o transporte intermunicipal metropolitano, o sistema viário metropolitano, o saneamento básico sua integração e eficiência, o uso do solo de áreas de interesse metropolitano, o aproveitamento de recursos hídricos, cartografia e mapeamento da RMBH, a preservação do meio ambiente, definir políticas habitacionais e de saúde pública e, por fim, garantir o desenvolvimento econômico.

Por último, a Lei Complementar nº 107 de 12 de janeiro de 2009, que cria a Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), é a última lei que rege seu funcionamento. A agência adquire o formato de uma “autarquia territorial e espacial, com caráter técnico e executivo, para fins de planejamento, assessoramento e regulação urbana, viabilização de instrumentos de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH - e apoio à execução de funções públicas de interesse comum” (art. 1º). A agência deve ter autonomia “administrativa e financeira, personalidade jurídica de direito público, prazo de duração indeterminado vinculado à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana” (art. 1º).

6.3 Os Planos Diretores Municipais e sua relação com o Transporte Urbano de Cargas

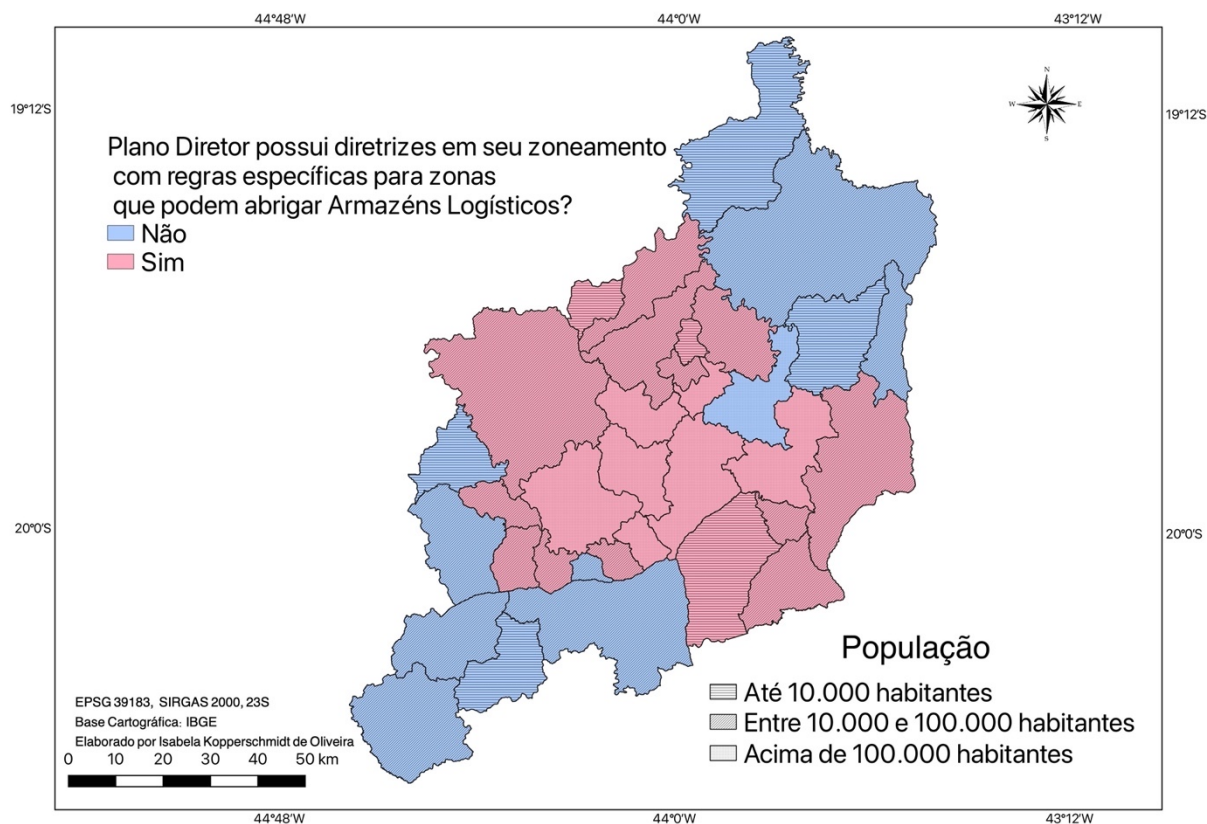
O plano diretor foi instituído pela Constituição Federal de 1988 e é regulado pela Lei nº 10.257/2001, o Estatuto das Cidades. Ele é definido, por esta mesma Lei como “o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana” (Brasil, 2001). As diretrizes estabelecidas pelo Plano Diretor devem estar contidas nas diretrizes orçamentárias do município e devem conter diretrizes para todo o território. Ele é obrigatório para municípios com mais de 20.000 habitantes, municípios integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, municípios de interesse turístico, municípios que contenham empreendimento com significativo impacto ambiental, municípios susceptíveis à processos hidrológicos e/ou geológicos e municípios. Villaça (2012) discorre que o Plano Diretor é elaborado a partir de diagnósticos físico, social, político, administrativo e científico da cidade com o objetivo de apresentar propostas para seu desenvolvimento nestas áreas. Assim, deste instrumento de lei desdobram diversos planos como plano de mobilidade e plano de saneamento básico, sendo necessário que o plano diretor estabeleça as diretrizes sobre os assuntos a serem discutidos nesses planos, que estabelecem projetos prioritários e metas a serem atingidas com respeito a cada tema destes planos.

Visto que o Plano Diretor é o instrumento legal que rege o funcionamento e ordenamento do território, é necessário que ele inclua em seus artigos todos os temas que impactam a dinâmica urbana. Conforme já mencionado anteriormente, no item 2, o TUC ocupa um papel relevante não só na dinâmica de transporte urbano como na qualidade de vida na população. Assim, é

importante que os Planos Diretores considerem o direcionamento que o município quer dar ao TUC.

Para verificar o direcionamento que os municípios da RMBH para o TUC, foram analisados dois aspectos dos Planos Diretores: o primeiro é relativo aos armazéns logísticos, buscando-se verificar se os Planos consideram separar uma área com diretrizes construtivas diferenciadas para os ALs, podendo ser alocados em zonas urbanas, zonas mistas e zonas de interesse de desenvolvimento econômico, a depender do porte dos armazéns. Essa análise resultou na Figura 6.10. O segundo aspecto diz respeito à regulação do TUC, seja ele regulação da operação de carga e descarga, garantia da fluidez do transporte urbano regulando a circulação de veículos pesados ou a instalação de centros logísticos. Essa análise resultou na Figura 6.11.

Figura 6.10: Municípios que possuem diretrizes específicas para abrigar Armazéns Logísticos na RMBH

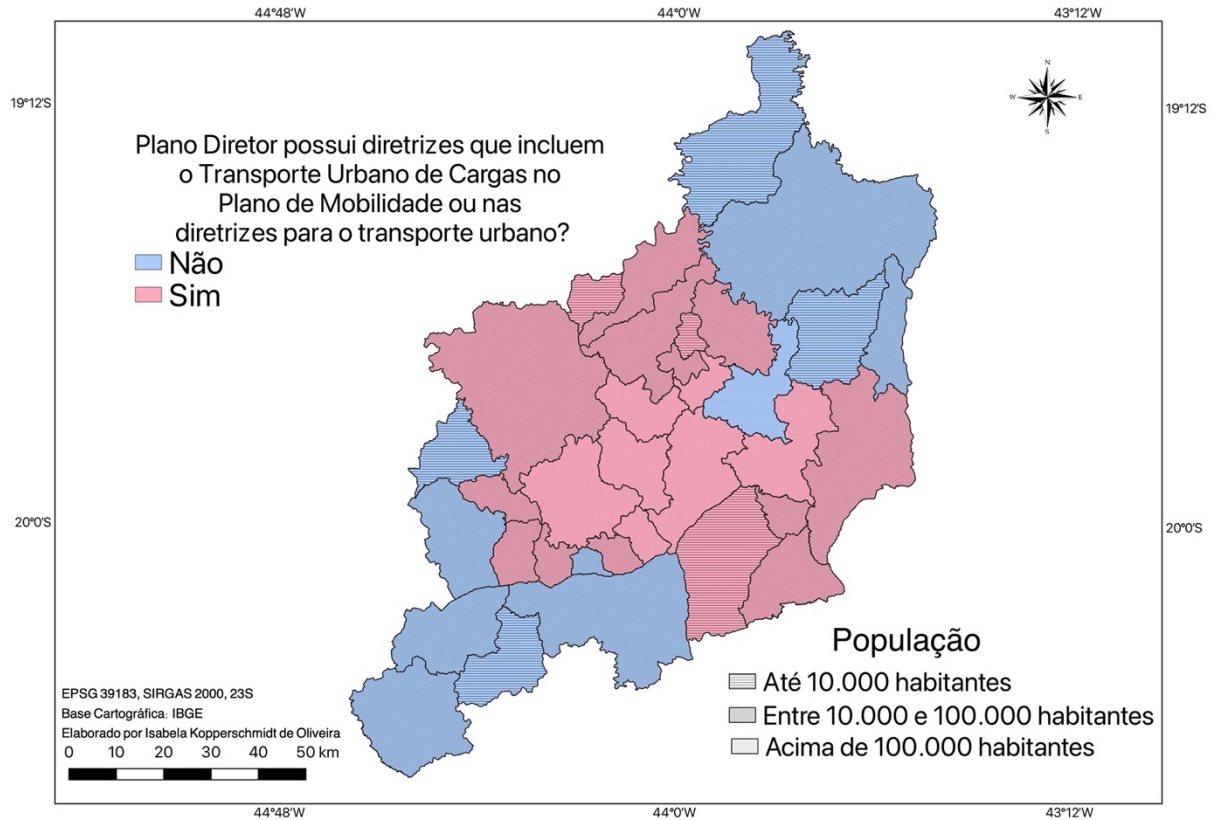


A partir da Figura 6.10 é possível observar que apenas 65% dos municípios da RMBH consideram que os armazéns logísticos devem seguir parâmetros urbanísticos específicos.

Nesses locais não há exatamente a legislação para ALs, mas incluem zonas onde estes devem ser instalados. Cabe ressaltar que a maioria dos locais em que não há legislação específica para armazéns incluem municípios que possuem zoneamento específico para zonas comerciais e/ou zonas de uso misto. Estes não foram caracterizados como zonas específicas para armazéns pois não legislam sobre empreendimentos de maior impacto viário, e os ALs devem ser considerados como empreendimentos com impacto viário em função da circulação de veículos cargas. É necessário ressaltar que os municípios que não possuem este tipo de legislação específica são aqueles ao norte e ao sul da RMBH, os quais são encontrados poucos ou nenhum AL, e que possuem poucos empreendimentos de grande impacto viário como indústrias.

Analisando a Figura 6.11, percebe que apenas 62% dos municípios da RMBH mencionam em seu plano diretor o TUC. Foi possível perceber que a grande maioria dos planos que mencionam o TUC estabelecem medidas restritivas à sua operação e a operação de carga e descarga, para garantir a fluidez do transporte urbano. É necessário destacar que os Planos Diretores de Belo Horizonte, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sarzedo e Vespasiano buscam diminuir os impactos de veículos pesados com a implantação de terminal de carga além das medidas restritivas ao TUC. Também é possível inferir que a maioria dos municípios que não mencionam o TUC são aqueles com menos de 10.000 habitantes. Entretanto há municípios com mais de 100.000 habitantes que não mencionam o TUC, sendo preocupante os impactos da atividade nestes municípios.

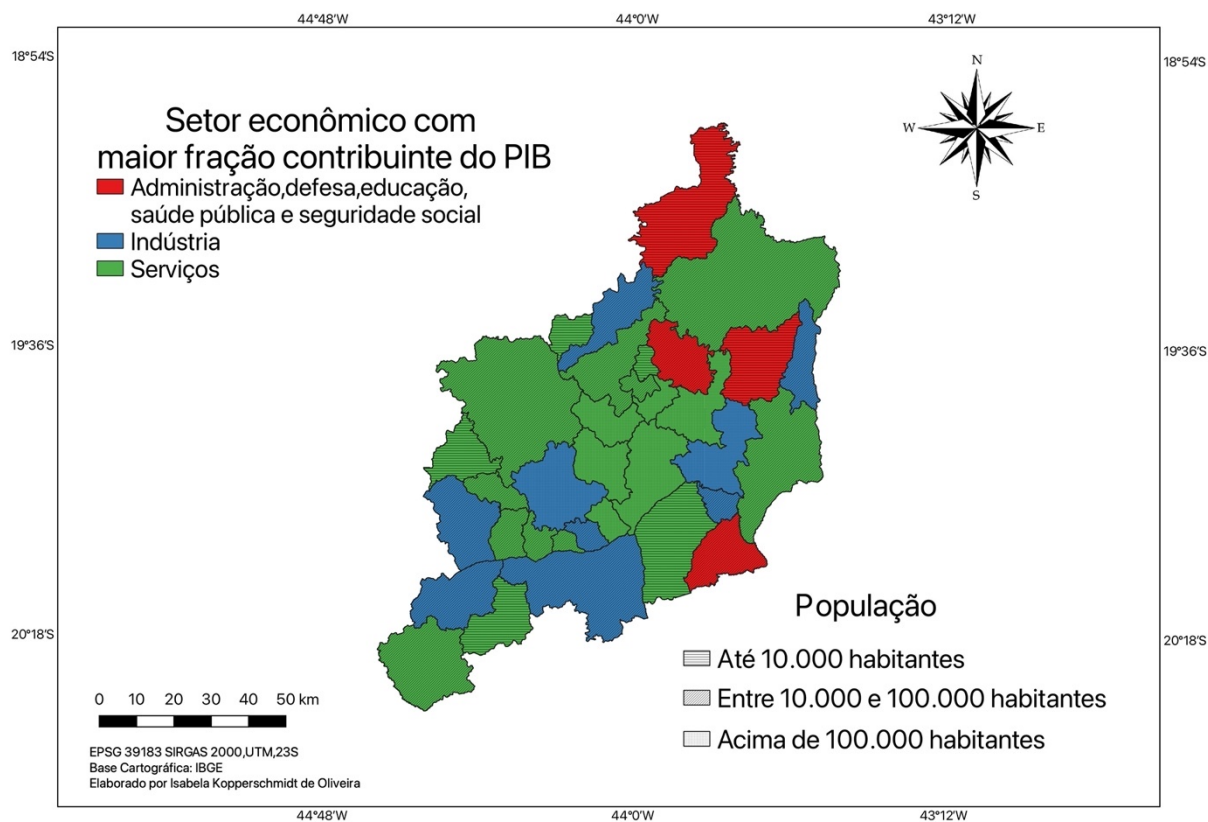
Figura 6.11: Municípios que possuem diretrizes para o transporte urbano de cargas em suas diretrizes para elaboração do Plano de Mobilidade na RMBH



A partir dessa análise acerca do TUC nos municípios da RMBH, se reafirma as conclusões do trabalho de Andrade (2016), demonstrando a grande diferença entre eles. A diferença de vocação econômica dos municípios e do tamanho de sua população influenciam no tratamento que o TUC recebe e qual o impacto do mesmo na sociedade. Na Figura 6.12 é possível observar qual setor possui a maior contribuição no PIB municipal. Percebe-se que existe um predomínio das atividades de serviços e que, em geral, nesses locais há legislação referente ao TUC.

É importante ressaltar que para o IBGE Cidades, a atividade minerária está incluída na atividade industrial, ficando evidente ao existirem planos diretores que ainda necessitam regularizar o transporte de carga por tração animal, enquanto outros municípios possuem a preocupação em diminuir a quantidade de veículos pesados que circulam no seu território. Ao levantar esses dados se observou que não houve municípios em que a atividade agrícola foi a predominante, mas em alguns municípios, principalmente nos de maior área rural, é a atividade com a segunda maior contribuição, não podendo descartar a importância da atividade e seu impacto na rede logística de distribuição.

Figura 6.12: Setor econômico que possui maior contribuição no PIB do município



6.4 O Plano Diretor Metropolitano (PDDI) e suas diretrizes para o TUC

O PDDI foi realizado com o objetivo de ser “processo de planejamento metropolitano na RMBH envolvendo seus municípios, o estado de Minas Gerais, os órgãos federais ali atuantes, a sociedade civil organizada em seus movimentos sociais, associações empresariais e populares e também, os municípios que compõem o Colar e o Entorno Metropolitano” (Minas Gerais, 2020a). O processo foi organizado em cinco eixos temáticos – proposta de reestruturação territorial metropolitana, acessibilidade, seguridade, urbanidade e sustentabilidade – sendo que no eixo urbanidade estão inclusas as diretrizes metropolitanas para o TUC que toma forma no Programa de Racionalização da Logística Metropolitana de Distribuição Física de Cargas em Belo Horizonte.

Como uma maneira inovadora de se pensar o TUC, a comissão do PDDI entende que a movimentação de mercadorias é inerente ao processo de urbanização, sendo essencial para contribuir com o bem estar e a qualidade de vida da população. Sendo assim, o entendimento é que deve se buscar medidas que minimizem a proliferação de veículos de carga e as

externalidades negativas do TUC (Minas Gerais, 2011). O PDDI institui como objetivo para o TUC a implantação de Plataformas Logísticas (PL) e sistemas de minerodutos para racionalizar o trânsito de veículos de carga. Foram estabelecidas metas para três períodos de tempo. Como prioridade foi considerada a elaboração de estudos preliminares e projetos de engenharia para as PL e o sistema de minerodutos. Para 2015 ficou estabelecido a implantação das PL Oeste, Noroeste e Nordeste e para 2023 a implantação de reserva de capacidade para a rede logística. Mais detalhes estão contidos no relatório de urbanização do PDDI, entretanto, até 2020, os projetos não haviam saído da etapa de planejamento.

Mesmo esses produtos tendo sido elaborado no ano de 2011, com início dos estudos em 2007, foi apenas no ano de 2017 que começaram as tramitações legais para PDDI, com o Projeto de Lei Complementar (PLC) nº 74/2017 (Minas Gerais, 2020b), que de acordo com a Assembleia Legislativa de Minas Gerais foi arquivado em 31 de janeiro de 2019. Como medida para o desenvolvimento produtivo sustentável existia a diretriz da consolidação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves como um *hub* internacional de passageiros e cargas. Como diretriz para mobilidade, o PLC traz como diretriz a promoção da racionalização, eficiência e sustentabilidade da logística metropolitana. Além disso, ficou instituída a Macrozona de Desenvolvimento Econômico e Industrial, a margem de grandes eixos estruturantes visando o desenvolvimento econômico da RMBH. Está incluso também a utilização de áreas vazias ou subutilizadas para construção de indústrias e instalações logísticas.

Por fim, a compreensão da área de estudo é fundamental para a compreensão do fenômeno que se deseja estudar, por isso este trabalho buscou entender a dinâmica legal, institucional além da caracterização socioeconômica da RMBH. Foi possível perceber que um arcabouço legal bem intrínseco e maduro rege a RM, mas isso não impediu que a mesma se constituísse de um território composto por municípios muito distintos entre si, que por muitas vezes não possuem nem integração física, sendo esse o maior desafio atual da governança metropolitana: traçar diretrizes públicas para o âmbito metropolitano que consiga atender a pluralidade de seus municípios de maneira isonômica. No que tange o transporte urbano de cargas, tema sete trabalho, foi possível perceber, que nem todos os municípios possuem o mínimo de diretrizes que o consideram, e mesmo os que consideram o TUC em seus planos diretores, as propostas são vagas, em sua maioria não levam em consideração a sustentabilidade da atividade.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES: DOS FATORES DE MODELAGEM AOS MODELOS

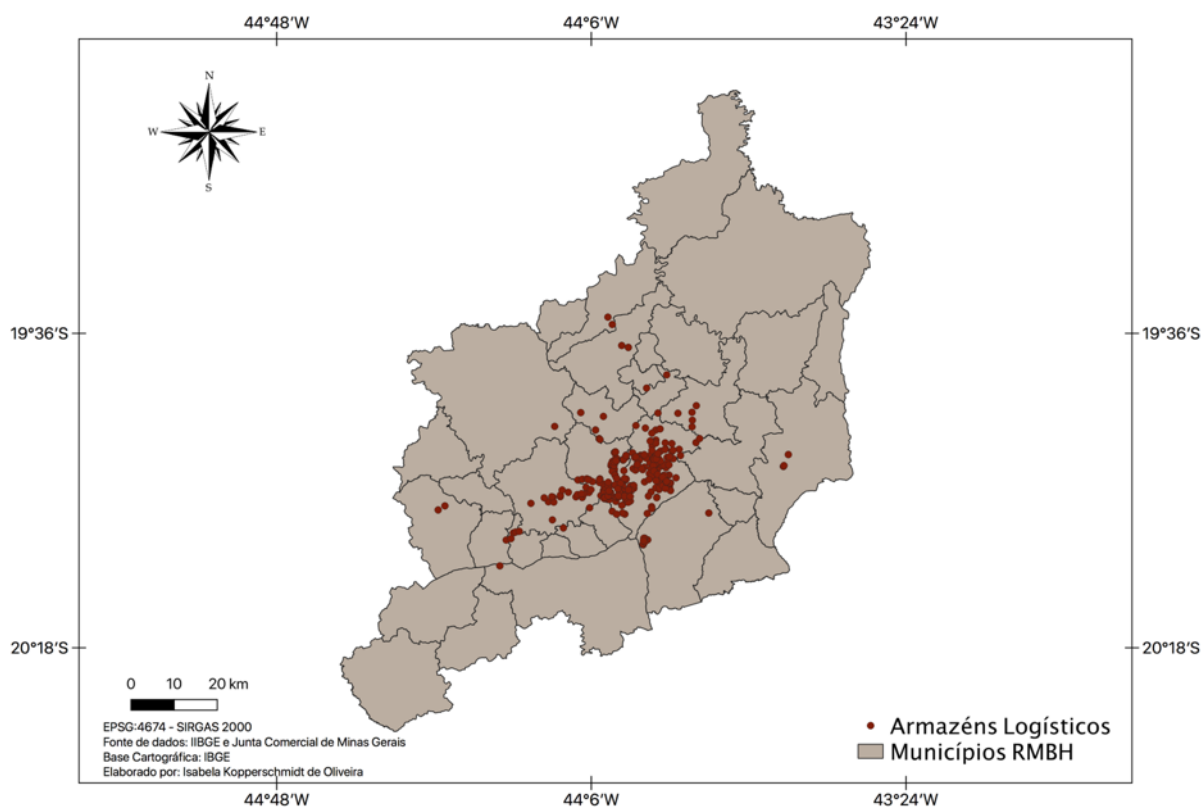
7.1 Fenômeno, fatores de modelagem e correlação espacial

Nessa seção são apresentados e descritos os fatores utilizados para a estimação dos modelos, assim como são apresentados os resultados para a correlação espacial realizada. Também é apresentado a distribuição espacial dos ALs utilizados nessa modelagem.

7.1.1 Distribuição espacial do fenômeno

A partir da Figura 7.1 foi possível observar a representação cartográfica da distribuição espacial dos ALs na RMBH, a qual demonstrou a concentração dos mesmos no núcleo da metrópole, mas especificamente nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, se estendendo até Betim. Os demais ALs se localizaram dispersos no território da RM, sendo que o extremo norte e o extremo sul não apresentaram ALs.

Figura 7.1: Representação espacial dos ALs utilizados na modelagem

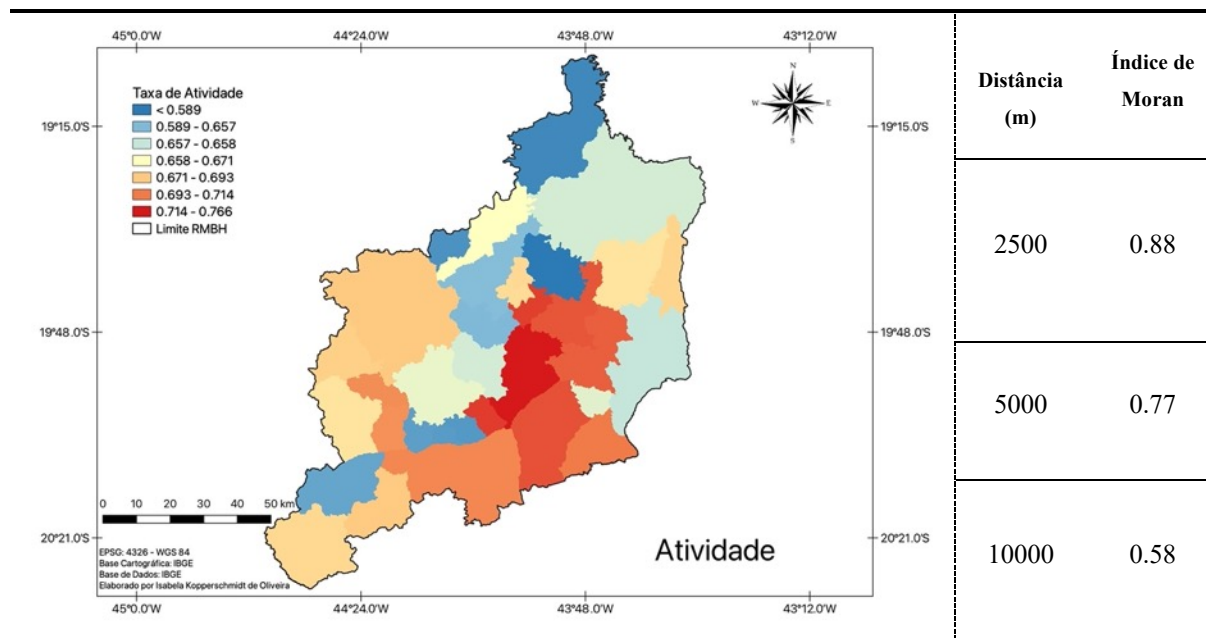


7.1.2 Fatores de modelagem e correlação espacial

7.1.2.1 Características Socioeconômicas

O fator “Atividade” representa a taxa de atividade cada município e foi obtido a partir de consulta no site IBGE Cidades. Esse fator indicou a proporção da população economicamente ativa que se encontrava empregada em cada município. Nessa taxa não houve distinção entre gênero ou setor ao qual a população estava empregada. A Figura 7.2 ilustra os valores do fator e seus resultados para o Índice de Moran Bivariado entre o fenômeno e o fator. A representação cartográfica demonstrou que Belo Horizonte é o município com maior fração de sua população ocupada, seguido dos municípios localizados na porção leste deste município. Já os da porção oeste possuíram os menores valores para esta taxa. Os valores identificados para o Índice de Moran Bivariado Global foram os esperados. Quando o índice foi calculado para as menores distância ele se aproximou de 1.0, indicando a alta correlação espacial do fator com o fenômeno, justificando assim a escolha desse fator como explicativo do fenômeno, até para o valor de distância de 10km, para o qual já não é necessário que haja mais correlação espacial significativa, o valor encontrado para o Índice de Moran indicou que ainda há correlação espacial.

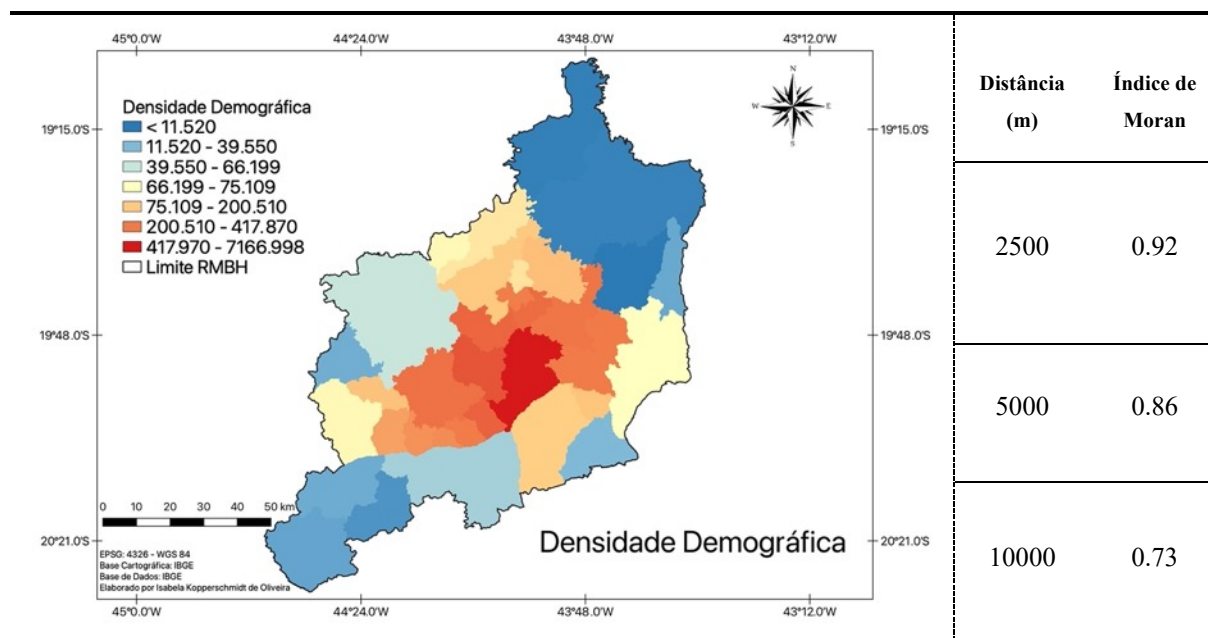
Figura 7.2: Fator "Atividade" e Índice de Moran Bivariado



Os dados para o fator “Densidade Populacional” foram obtidos no IBGE Cidades e representam a fração número de habitantes pela área do município. A Figura 7.3 apresenta sua representação cartográfica e valores do Índice de Moran Bivariado. Belo Horizonte foi o município com maior Densidade Populacional e o valor reduziu à medida que se afasta da metrópole. Cabe ressaltar

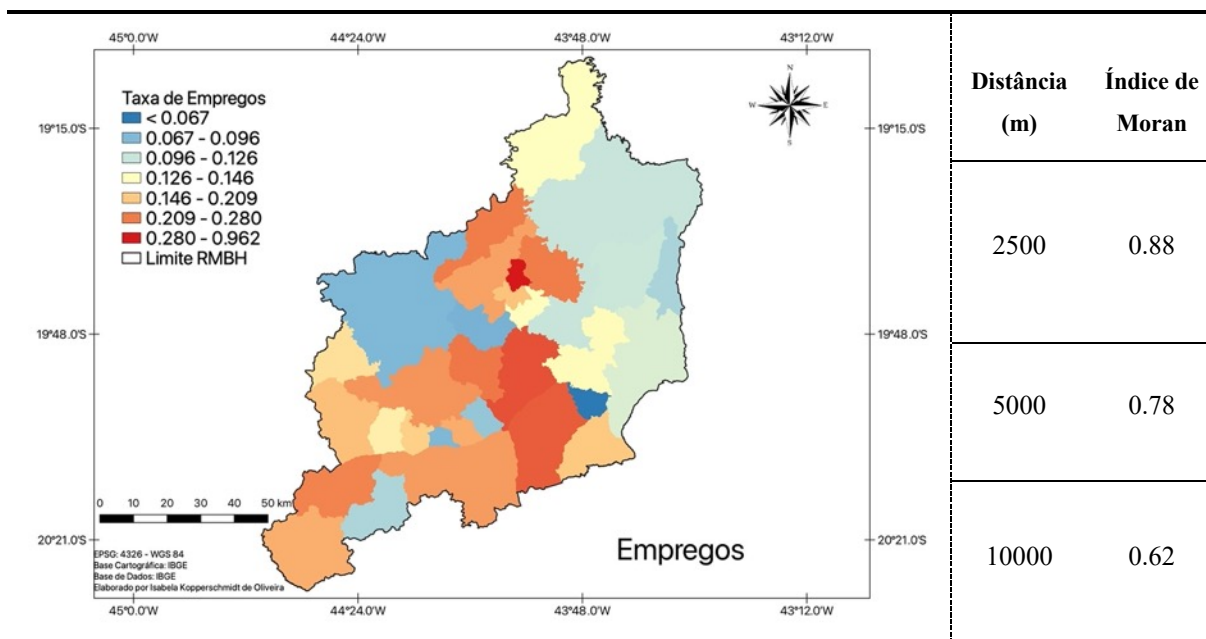
que a grande diferença de valor (700%) entre os municípios com maior e menor densidade populacional, demonstrou quão diverso é o território da RMBH. O valor do Índice de Moran Bivariado é próximo a 1.0 para todas as distâncias analisadas, o que indicou a alta correlação espacial entre o fator e o fenômeno, sendo o fator explicativo para o fenômeno estudado.

Figura 7.3: Fator "Densidade Populacional" e Índice de Moran Bivariado



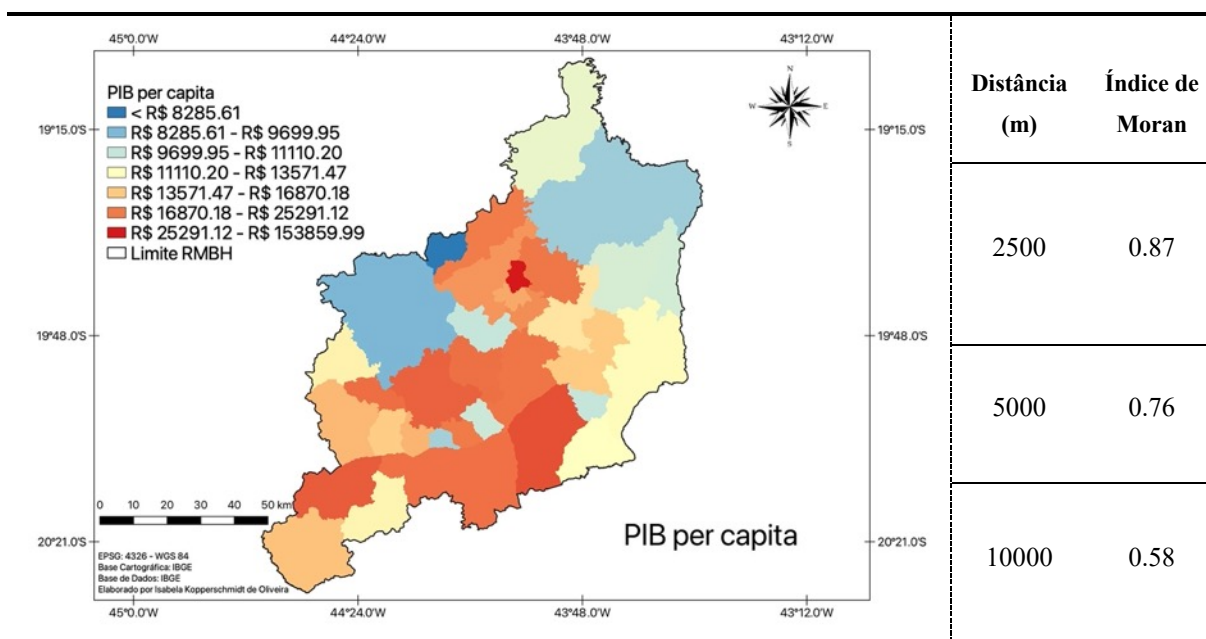
O fator “Empregos” é a representação da taxa de desemprego e indica relação entre a população desempregada e a população economicamente ativa e sua representação cartográfica em conjunto com os resultados do Índice de Moran Bivariado estão ilustrados na Figura 7.4. No geral, essa relação apresentou valores que variam entre 0,06% e 30%, sendo que o maior valor da taxa não necessariamente tem relação com o porte do município, mas se observou que os municípios mais ao norte tenderam a ter menores valores dessa taxa que os do sul. O Índice de Moran Bivariado também apresentou alta correlação espacial, demonstrando o potencial do fator de ser explicativo do fenômeno.

Figura 7.4: Fator "Empregos" e Índice de Moran Bivariado



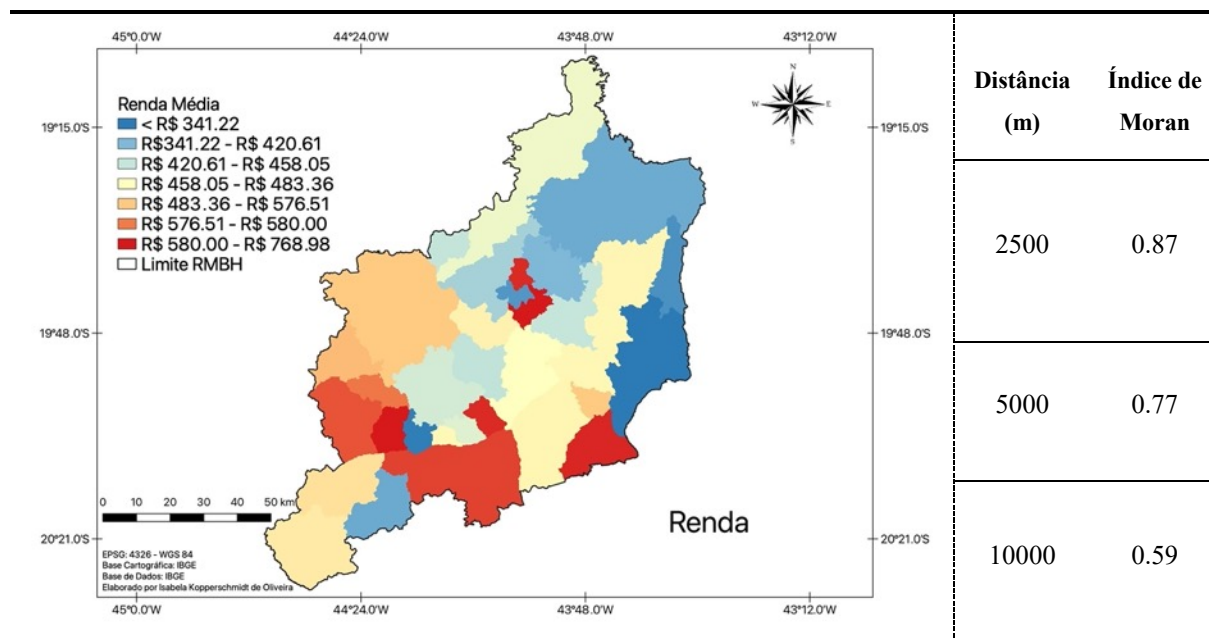
O fator “PIB”, representado na Figura 7.5, indica o PIB *per capita* de cada município e representa a razão entre o PIB do município e sua população. Esse fator seguiu o padrão de distribuição de cores semelhante ao fator “Empregos” em que o setor norte tende a apresentar menores valores de PIB *per capita*. Os valores encontrados para o Índice de Moran Bivariado também foram altos, próximos a 1.0, indicando assim que foi identificada correlação espacial entre o fator e o fenômeno.

Figura 7.5: Fator "PIB per capita" e Índice de Moran Bivariado



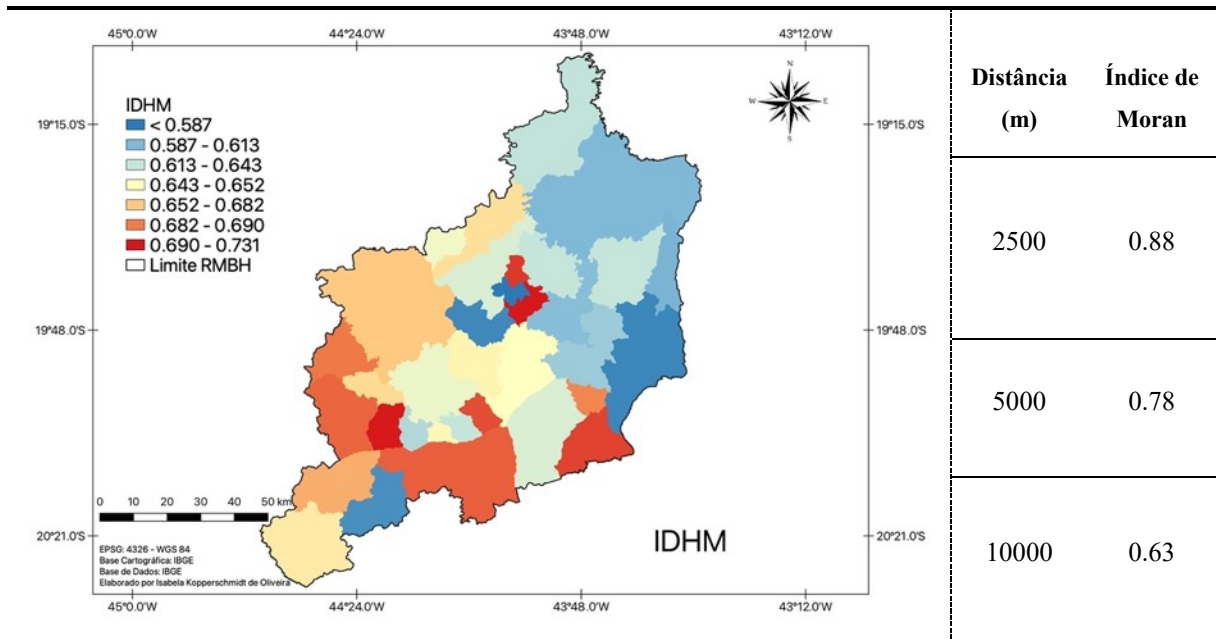
A Figura 7.6 ilustra a representação cartográfica do fator “Renda” e os valores do Índice Bivariado de Moran. O fator representa a renda média da população de cada município, e os principais municípios mais significativos dessa RM possuíram a renda média com valores médios a exemplo de Belo Horizonte, representado em tons amarelos na figura. O Índice de Moran Bivariado de Moran indicou que há correlação espacial entre o fator “Renda” e o fenômeno “Armazéns”.

Figura 7.6: Fator "Renda" e Índice de Moran Bivariado



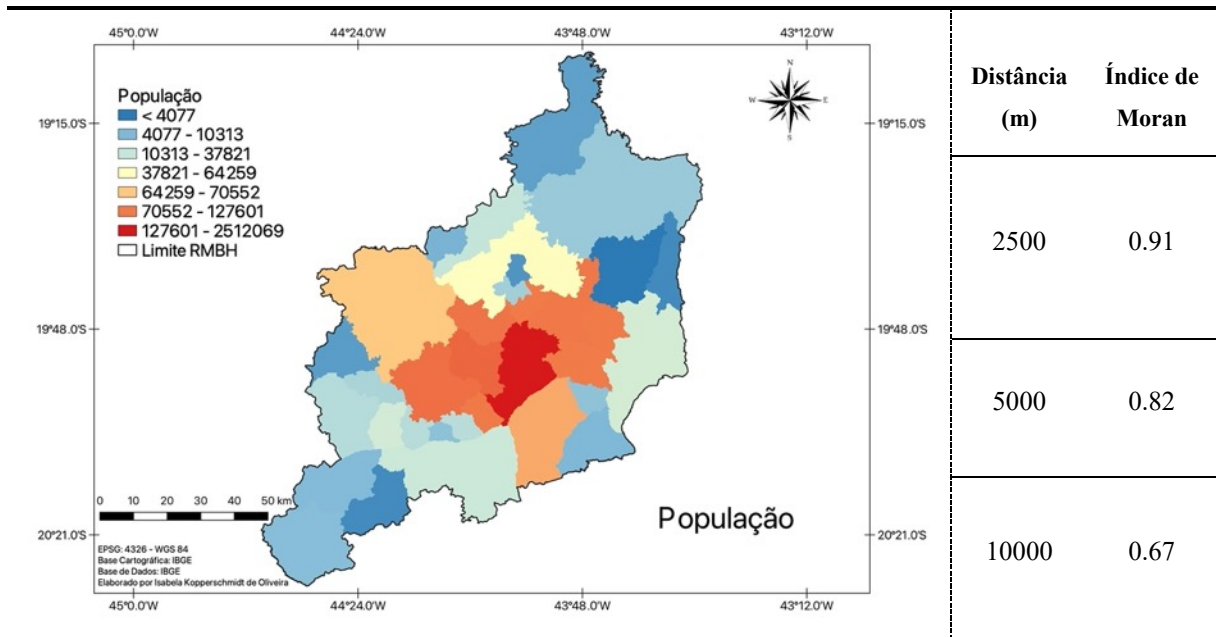
O fator “IDHM” é a representação da qualidade de vida média da população, calculada a partir dos indicadores da Fundação João Pinheiro. Da Figura 7.7, observou-se a grande variabilidade que o fator apresentou, sendo este mais um indicativo das discrepâncias entre os territórios dessa metrópole. Mesmo sendo um território diverso, o Índice Bivariado de Moran demonstrou que existe correlação espacial entre o fator e o fenômeno.

Figura 7.7: Fator "IDHM" e Índice de Moran Bivariado



Considerando o fator “População”, a Figura 7.8 demonstrou como a população se concentra principalmente em Belo Horizonte e nos municípios de seu entorno, e como o valor reduziu à medida que os municípios se aproximam das bordas da RMBH. O fator apresentou alta correlação espacial em decorrência dos altos valores encontrados para o Índice de Moran Bivariado.

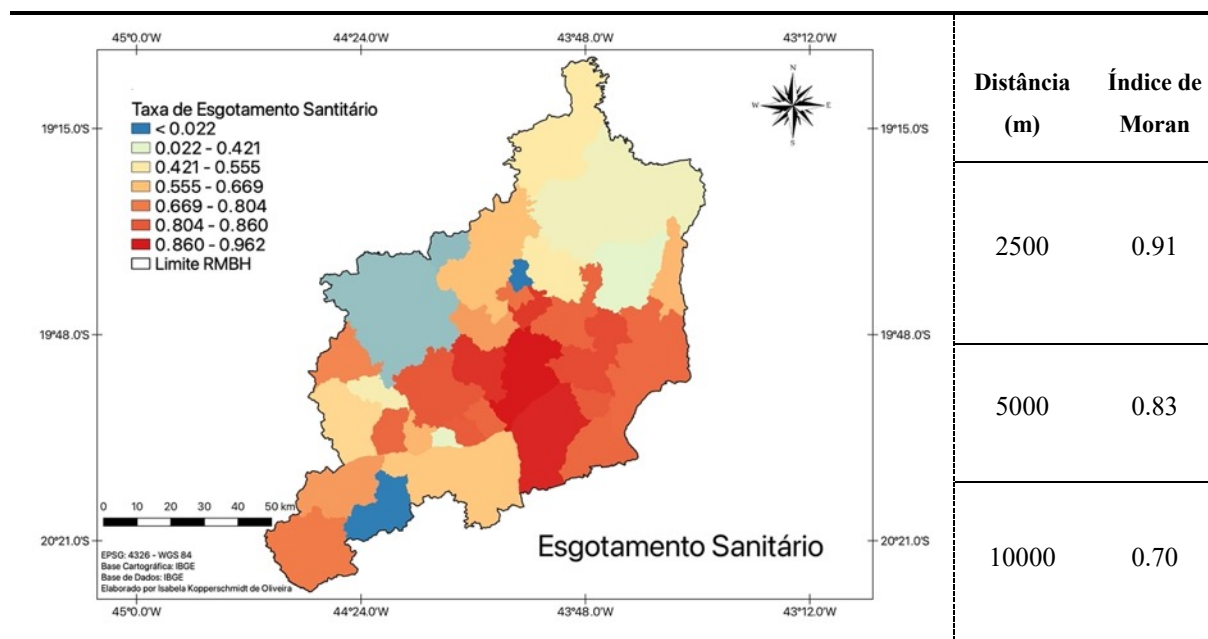
Figura 7.8: Fator "População" e Índice de Moran Bivariado



7.1.2.2 Infraestrutura Urbana

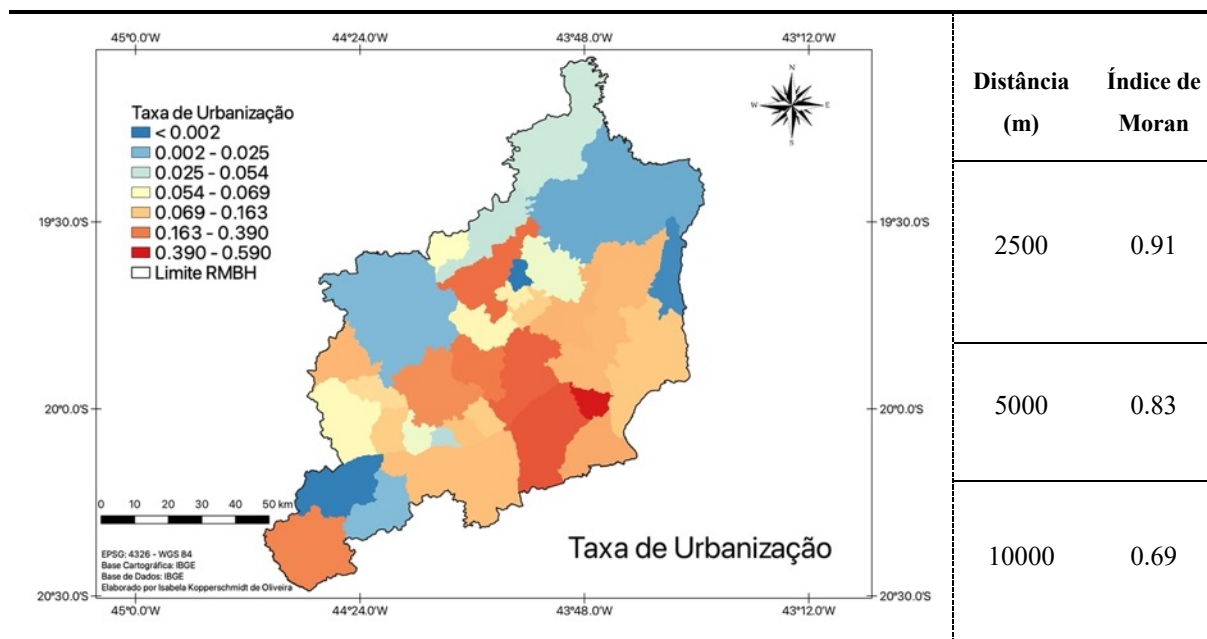
O fator “Esgotamento Sanitário” (Figura 7.9) foi retirado do site IBGE cidades e representa a taxa de esgotamento sanitário adequado de cada município, ou seja, indica o percentual da população atendida adequadamente pela rede de esgotamento sanitário municipal. Esse fator apresentou grandes discrepâncias, indicando que ainda existem municípios com condições precárias de esgotamento sanitário, mas no geral, se percebeu que há um predomínio dos municípios com a taxa superior a 80%. Os valores do Índice de Moran Bivariado indicaram que há forte correlação espacial, sendo que até para a distância de 10km o valor foi próximo a 1.0.

Figura 7.9: Fator "Esgotamento Sanitário" e Índice de Moran Bivariado



A Figura 7.10 ilustra a representação cartográfica do fator “Taxa de Urbanização” e seus valores do Índice Bivariado de Moran. Esse fator representa o percentual do território que possui a urbanização adequada como ruas pavimentadas, com drenagem de águas pluviais e arborização. Esse fator também possuiu grande variação entre os municípios, mesmo assim, foi identificado correlação espacial pelos altos valores do Índice de Moran Bivariado.

Figura 7.10: Fator "Taxa de Urbanização" e Índice de Moran Bivariado

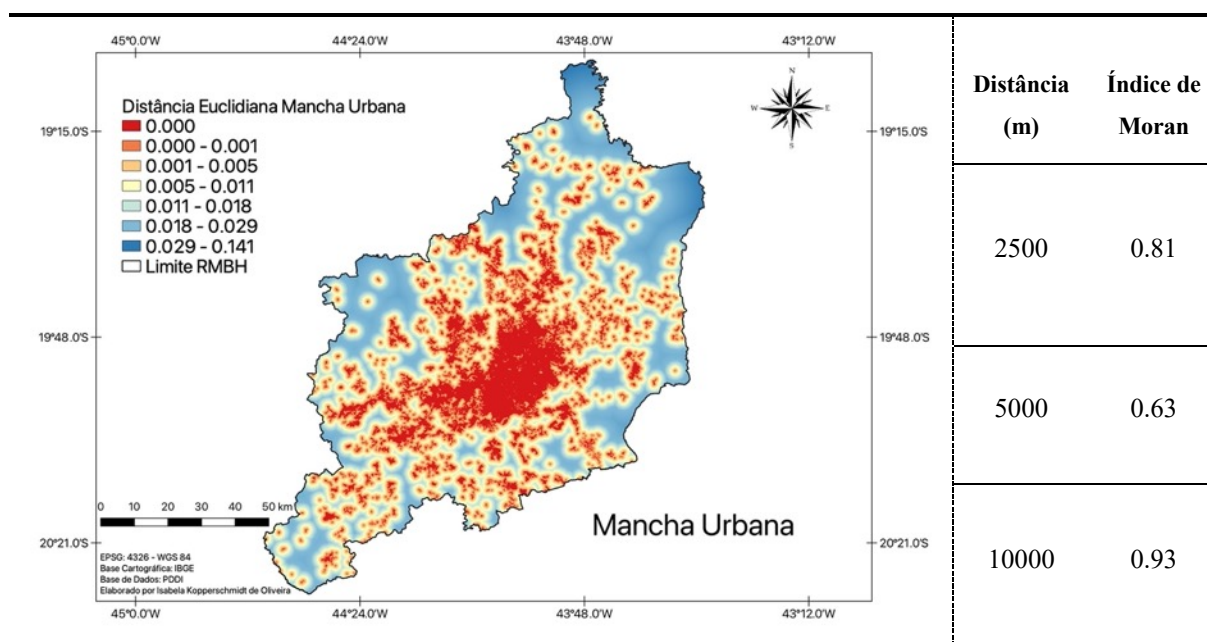


7.1.2.3 Uso do Solo

Os fatores deste subitem foram elaborados a partir da ferramenta de distância euclidiana. Ela classificou o território a partir da distância em que o pixel se encontrava da infraestrutura urbana desenhada no arquivo em *shapefile* e o converteu em um arquivo do tipo *raster* em que cada pixel continha um valor e que indicava se o pixel estava mais próximo ou mais distante da infraestrutura. Assim, os menores valores indicam maior proximidade com o fator enquanto maiores valores indicam maior distância com o fator. A exceção do fator “Mancha Urbana” os outros fatores desta seção foram retirados do *OpenStreetMap* pela dificuldade obtenção de tal informação espacializada para todos os municípios da RMBH de fontes governamentais oficiais.

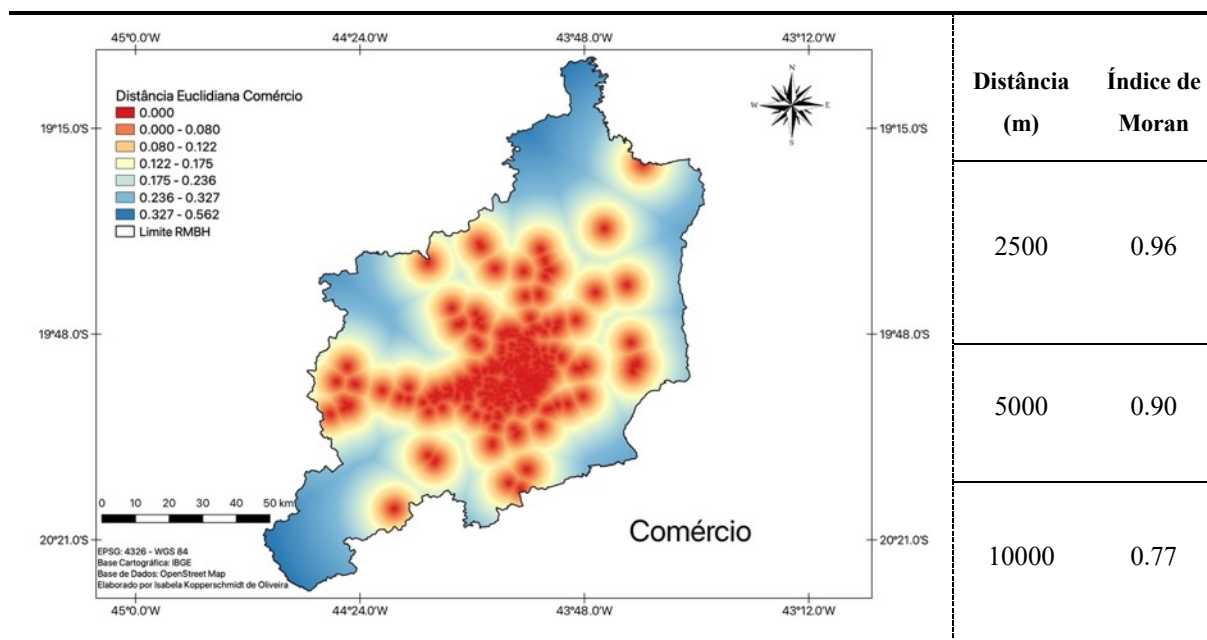
O fator “Mancha Urbana” apresenta sua representação cartográfica após a conversão para o arquivo *raster* na Figura 7.11, assim como os valores do Índice de Moran Bivariado. Pela representação cartográfica se observou que há uma descontinuidade da mancha urbana, pois foi possível observar vários espaços em tons frios. Além disso se observou que há uma concentração dessa mancha urbana no centro da RMBH, e a medida em que se afasta do núcleo ela se torna pulverizada. Em função da fragmentação espacial da mancha urbana, o índice de correlação espacial calculado não apresentou um comportamento decrescente com o aumento da distância, mas mesmo assim para todas as distâncias analisadas o fator apresentou correlação espacial, indicando que o fator pode ser explicativo do fenômeno espacialmente.

Figura 7.11: Fator "Mancha Urbana" e Índice de Moran Bivariado



A Figura 7.12 ilustra a representação cartográfica do fator “Comércio”. A partir dela foi possível observar que a metrópole os municípios de seu entorno foram os que possuíram a maior concentração de estabelecimentos comerciais. Os valores obtidos para o Índice de Moran Bivariado foram próximos a 1.0, indicando que esse fator e o fenômeno “Armazéns” apresentaram correlação espacial.

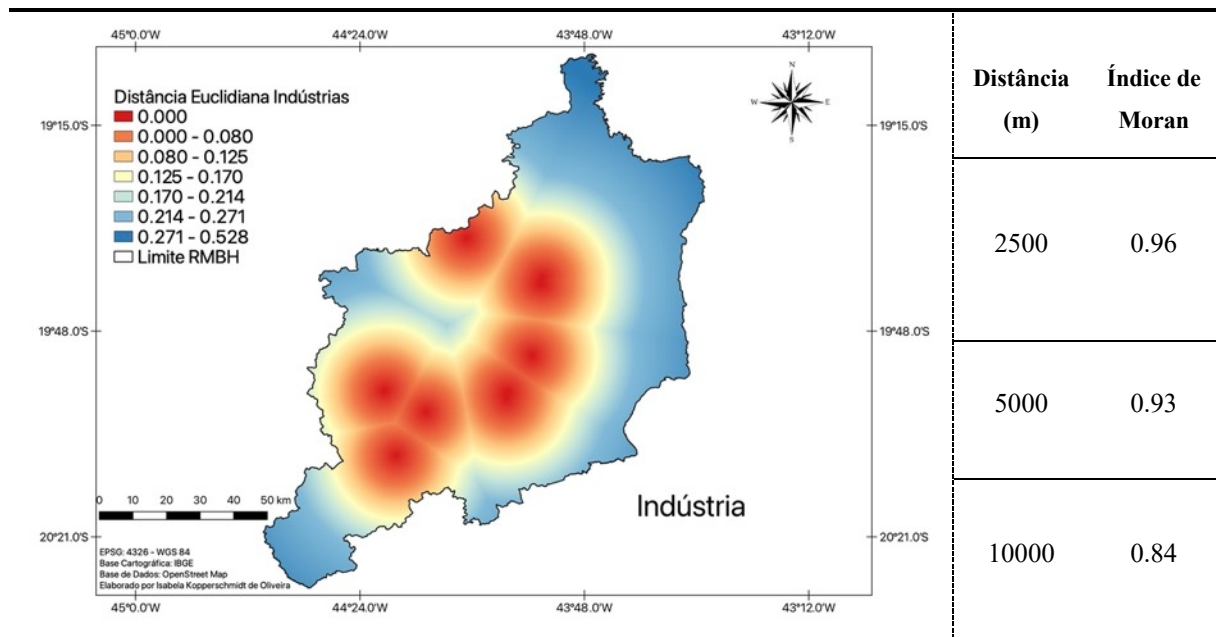
Figura 7.12: Fator "Comércio" e Índice de Moran Bivariado



Nem todos os municípios da RMBH possuem zonas industriais, como observado na representação cartográfica do fator “Indústria” está ilustrada na Figura 7.13. Foi identificada

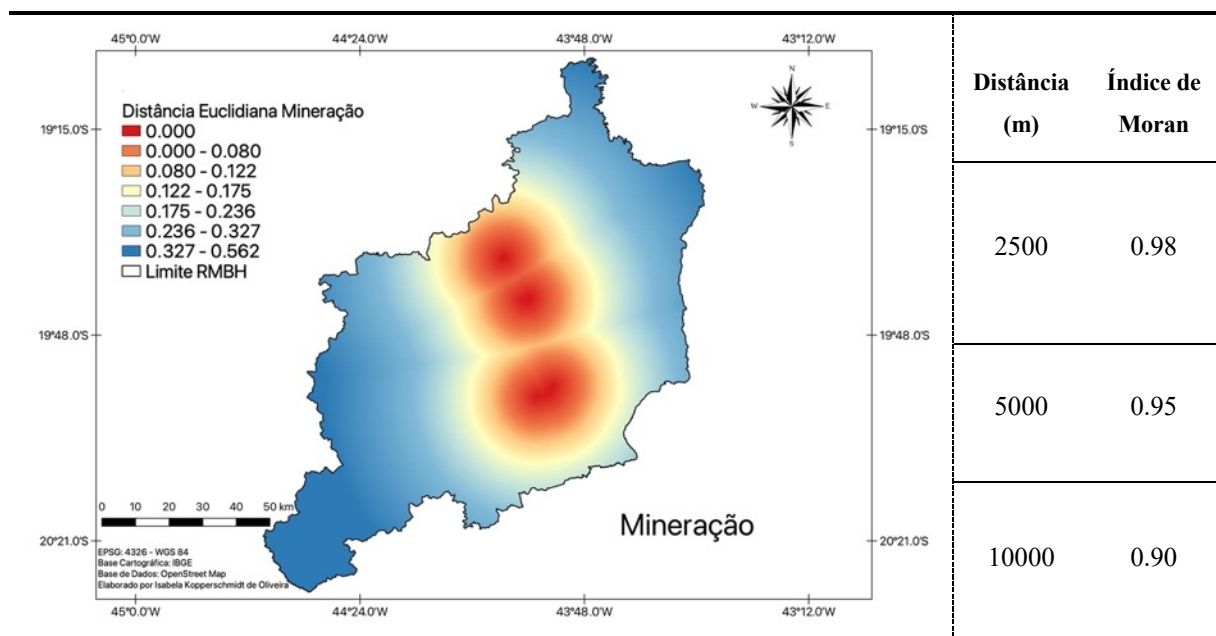
alta correlação espacial, pois os valores do Índice de Moran Bivariado foram próximos a 1, inclusive para a distância de 10km.

Figura 7.13: Fator "Indústria" e Índice de Moran Bivariado



A RMBH tem uma vários municípios cuja história está atrelada a mineração e possuem a atividade minerária como principal atividade até hoje. A Figura 7.14. ilustra a representação cartográfica das zonas minerárias identificadas pelo *OpenStreetMap*. Pôde-se perceber que elas se concentram ao norte da RM e que o fator apresentou correlação espacial com o fenômeno pelos altos valores do Índice de Moran Bivariado.

Figura 7.14: Fator "Mineração" e Índice de Moran Bivariado



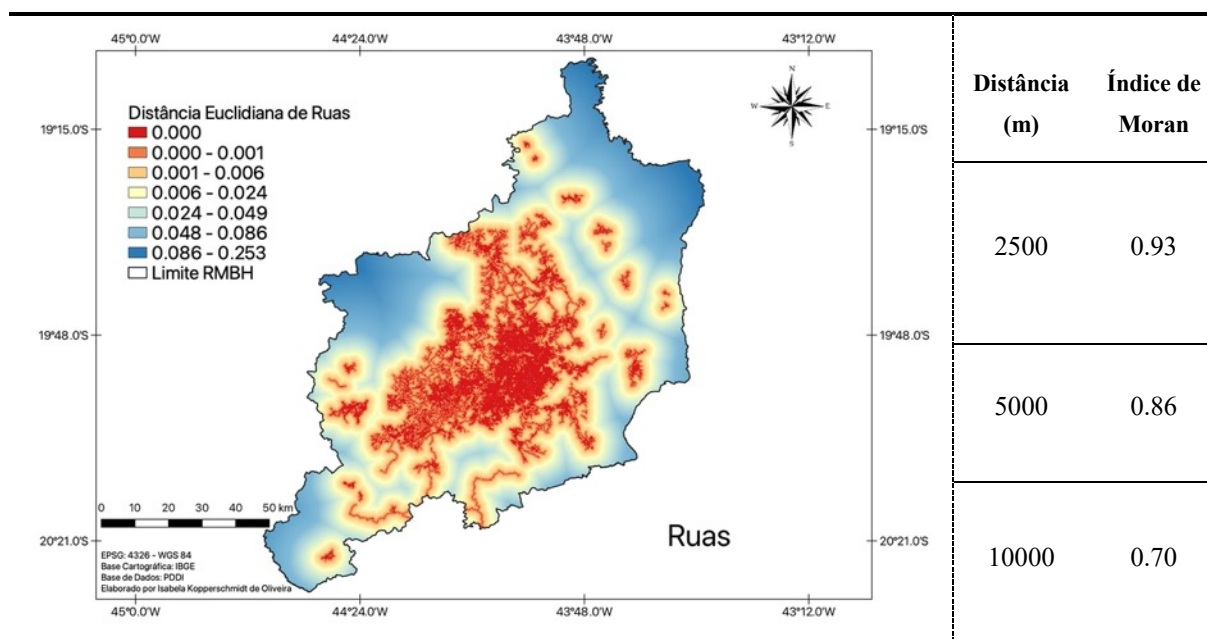
7.1.2.4 Sistema de Transporte

Os fatores relacionados ao sistema de transporte também foram obtidos a partir da ferramenta distância euclidiana. Os arquivos em *shapefile* foram obtidos dos sites institucionais Ministério da Infraestrutura e a Agência Metropolitana.

O fator “Ruas” também apresentou fragmentação assim como o fator “Mancha Urbana”, entretanto percebeu-se que ela foi menos intensa. A aparente falta de integração por vias de transporte urbano se deve ao fato de a base de dados considerar apenas as vias asfaltadas, e em alguns municípios ainda existem vias não pavimentadas, incluindo acessos intermunicipais. Também se observou que existem municípios que não possuíram integração uns com os outros e não apresentaram integração com a metrópole por meio da malha viária urbana, sendo esse o resultado de um processo de interesses políticos para constituição do território da RMBH sem necessariamente considerar a integração entre esses municípios para constituir a RM, conforme explicado por Faria (2012).

A maior concentração de vias foi observada no núcleo da metrópole, e o município de Belo Horizonte foi o que possuiu a rede viária mais densa. O Índice de Moran Bivariado apresentou altos valores de correlação espacial para todas as distâncias, indicando que o fator e o fenômeno são correlatos. Esses dados estão presentes na Figura 7.15.

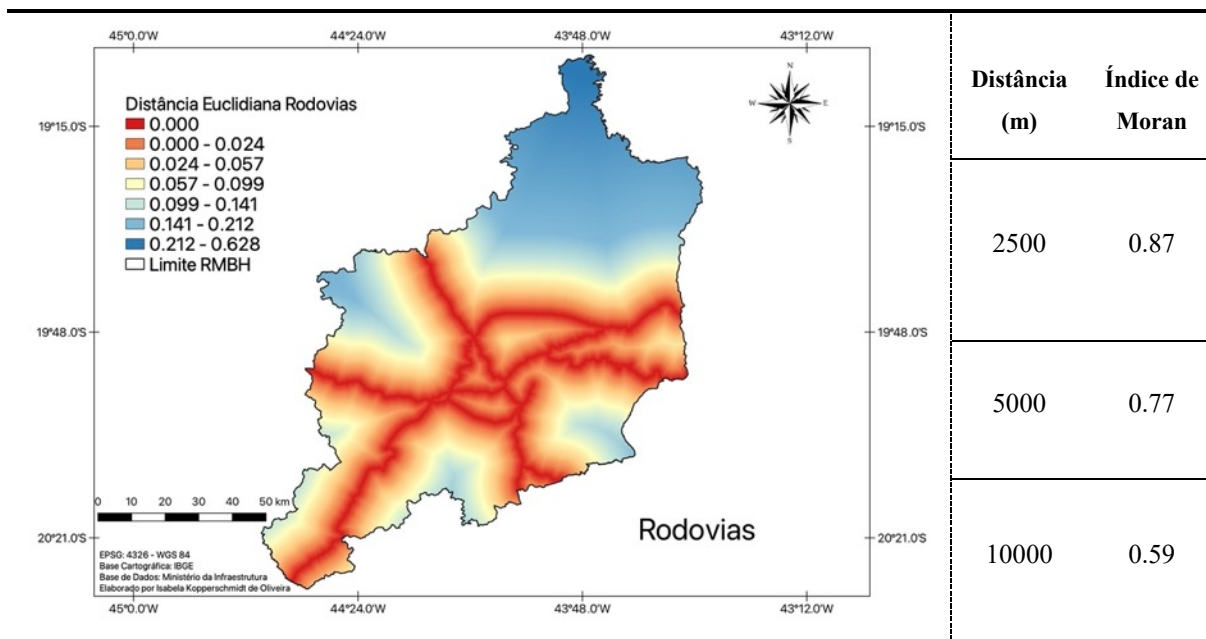
Figura 7.15: Fator "Ruas" e Índice de Moran Bivariado



A partir da representação cartográfica do fator “Rodovias” na Figura 7.16, se percebeu que há uma convergência das mesmas para o centro da metrópole e que o norte da RMBH não há

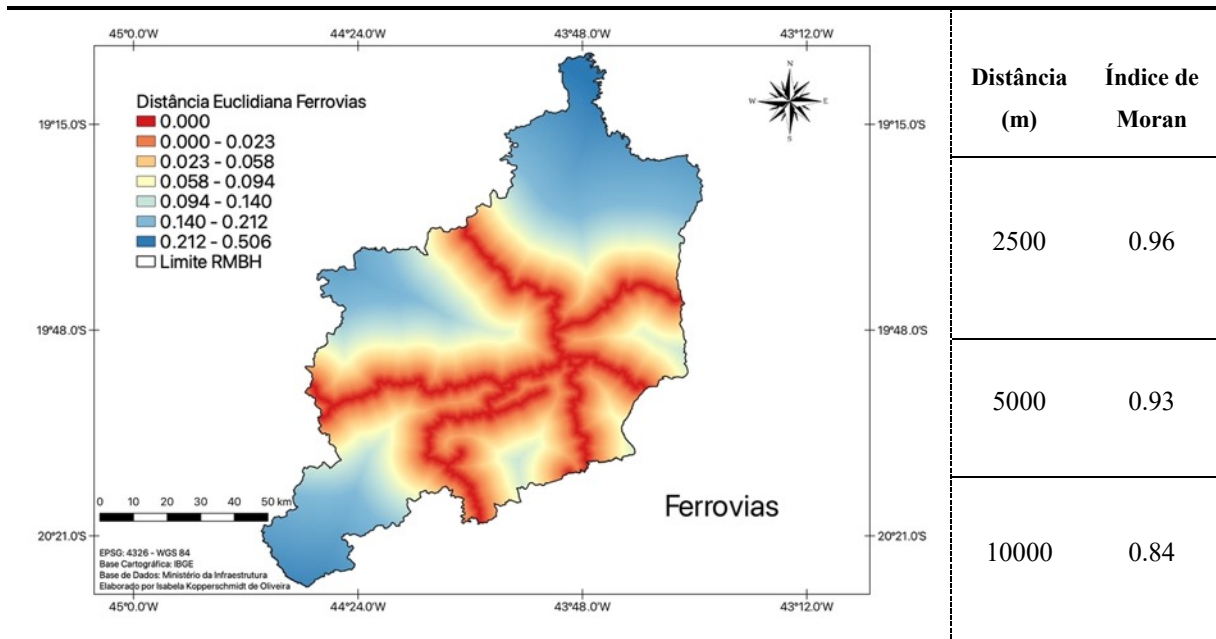
infraestrutura de transporte rodoviário que interligue alguns dos municípios do norte com o restante da metrópole, o que demonstrou que a constituição da atual RMBH não considerou a real integração física entre os municípios, conforme observado por Faria (2012). Mesmo assim, o fator apresentou correlação espacial com o fenômeno em razão dos valores do Índice de Moran Bivariado serem próximos a 1.

Figura 7.16: Fator "Rodovias" e Índice de Moran Bivariado



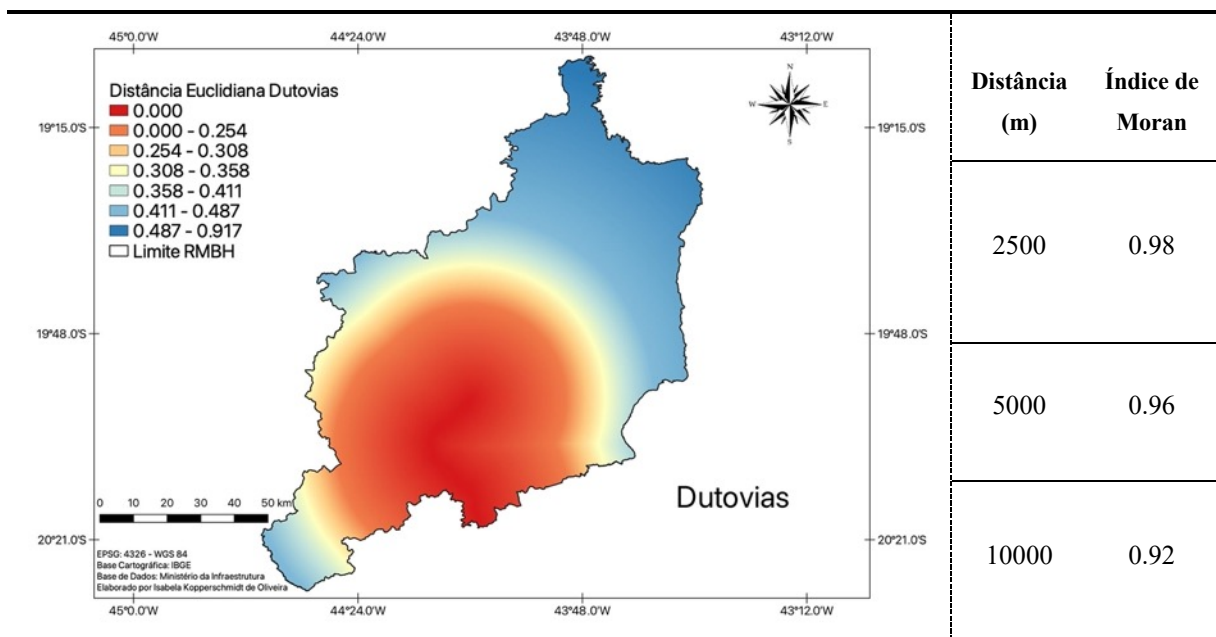
As ferrovias da RMBH foram construídas na época da Corrida Ouro e até hoje sua principal função é o transporte de matéria prima oriunda da atividade minerária. Analisando a Figura 7.17, que ilustra o fator “Mineração”, ficou evidente que o setor norte da RM continua sem integração. Todavia, esse fator também apresentou alta correlação espacial entre o fenômeno estudado e o fator, inclusive para a distância de 10km.

Figura 7.17: Fator "Ferrovias" e Índice de Moran Bivariado



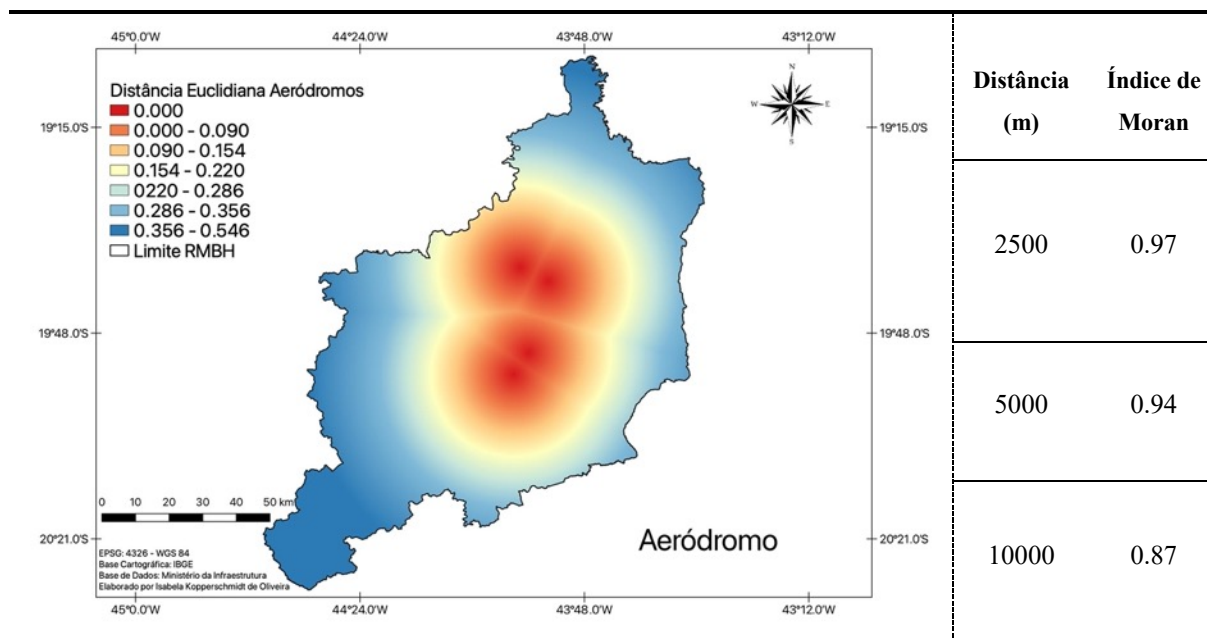
O Brasil não possui uma rede densa de Dutovias, e o mesmo se replica na RMBH, que possui apenas uma dutovia a sudeste da RM. Assim como demonstrado na representação cartográfica da Figura 7.18, o fator “Dutovias” então se constituiu uma grande quantidade de pixels com valores semelhantes. Como consequência foram encontrados valores que tendem a 1.0 para o Índice de Moran Bivariado, apontando alta correlação espacial entre o fator e o fenômeno “Armazéns”.

Figura 7.18: Fator "Dutovias" e Índice de Moran Bivariado



A RMBH possui quatro aeroportos, sendo o principal deles o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, responsável por movimentação de cargas e passageiros. A representação cartográfica do fator “Aeródromos” apresentou caráter semelhante ao dos demais fatores dessa seção, pois existem muitos pixels com o mesmo valor, assim, a correlação espacial entre o fator e o fenômeno foi alta com valores próximos a 1.0 para todas as distâncias do Índice de Moran Bivariado. Os resultados podem ser observados na Figura 7.19.

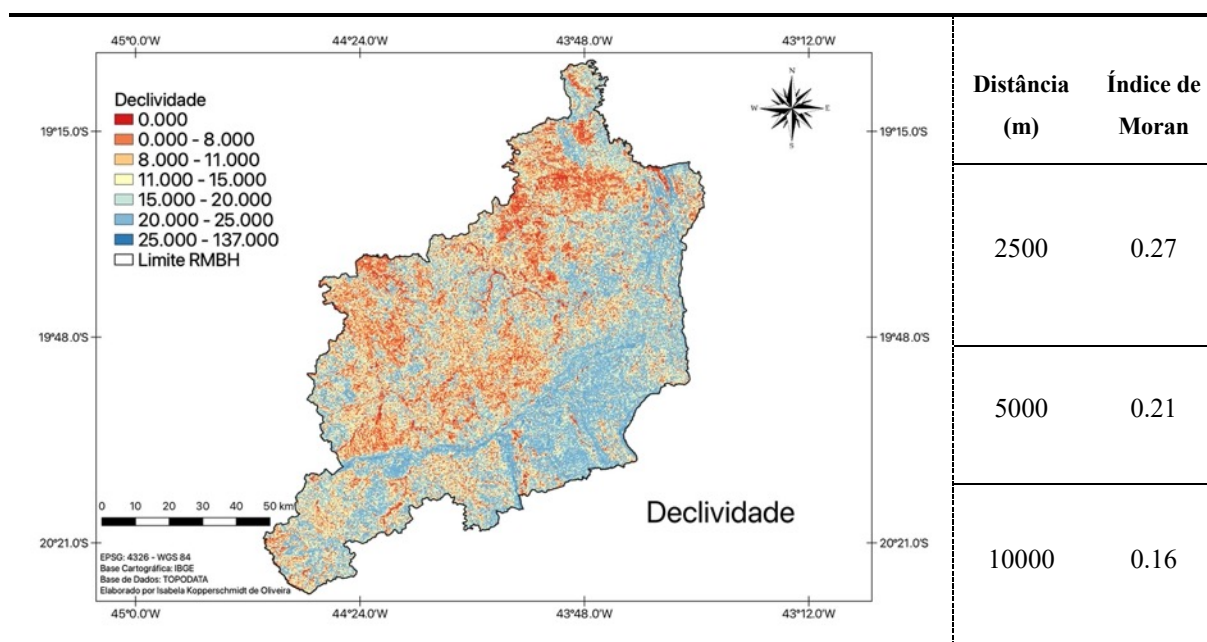
Figura 7.19: Fator "Aeródromos" e Índice de Moran Bivariado



7.1.2.5 Características do Meio Físico

O fator “Declividade”, ilustrado na Figura 7.20, foi retirado da página eletrônica do Projeto Topodata e demonstrou o quanto o relevo da RMBH é acidentado. Foi possível perceber locais cuja declividade excessiva (ilustrados em tons quentes) pode impedir ou dificultar a construção, a exemplo da Serra do Curral. A RMBH também é caracterizada pela presença de inúmeros rios e nascentes, que aqui são perceptíveis como os fundos de vales, com declividade 0. Esse fator não apresentou correlação espacial com o fenômeno justamente por essa diversidade no relevo da RMBH e pelas técnicas de engenharia serem capazes de superar várias barreiras geográficas. Mesmo assim, se optou por manter esse fator na modelagem, mas se espera que ele tenha uma menor contribuição nos modelos.

Figura 7.20: Fator "Declividade" e Índice de Moran Bivariado



7.2 Resultados e análises dos modelos estimados

7.2.1 Modelo 01

O primeiro modelo estimado considerou todos os fatores como variáveis independentes para o modelo. Foi optado para o modelo 01 em utilizar a função “vif” que não utiliza um limite e já recompõe o banco de dados com os fatores sem colinearidade, pois esse modelo tem o intuito de ser o mais completo e avaliar todos os fatores. Conforme pode ser observado na Tabela 7.1, o resultado do VIF indicou que os fatores “Aeródromos”, “Densidade Populacional”, “Mineração”, “População” e “Renda” são colineares. Mesmo identificando a colinearidade entre essas variáveis, decidiu-se por estimar o modelo com todas as variáveis, devendo ser analisado com cautela as curvas responsivas e os resultados não poderem ser aplicados para além da área de estudo, entretanto, não invalida o modelo conforme discutido por Dorman *et al.* (2012).

Tabela 7.1: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 01

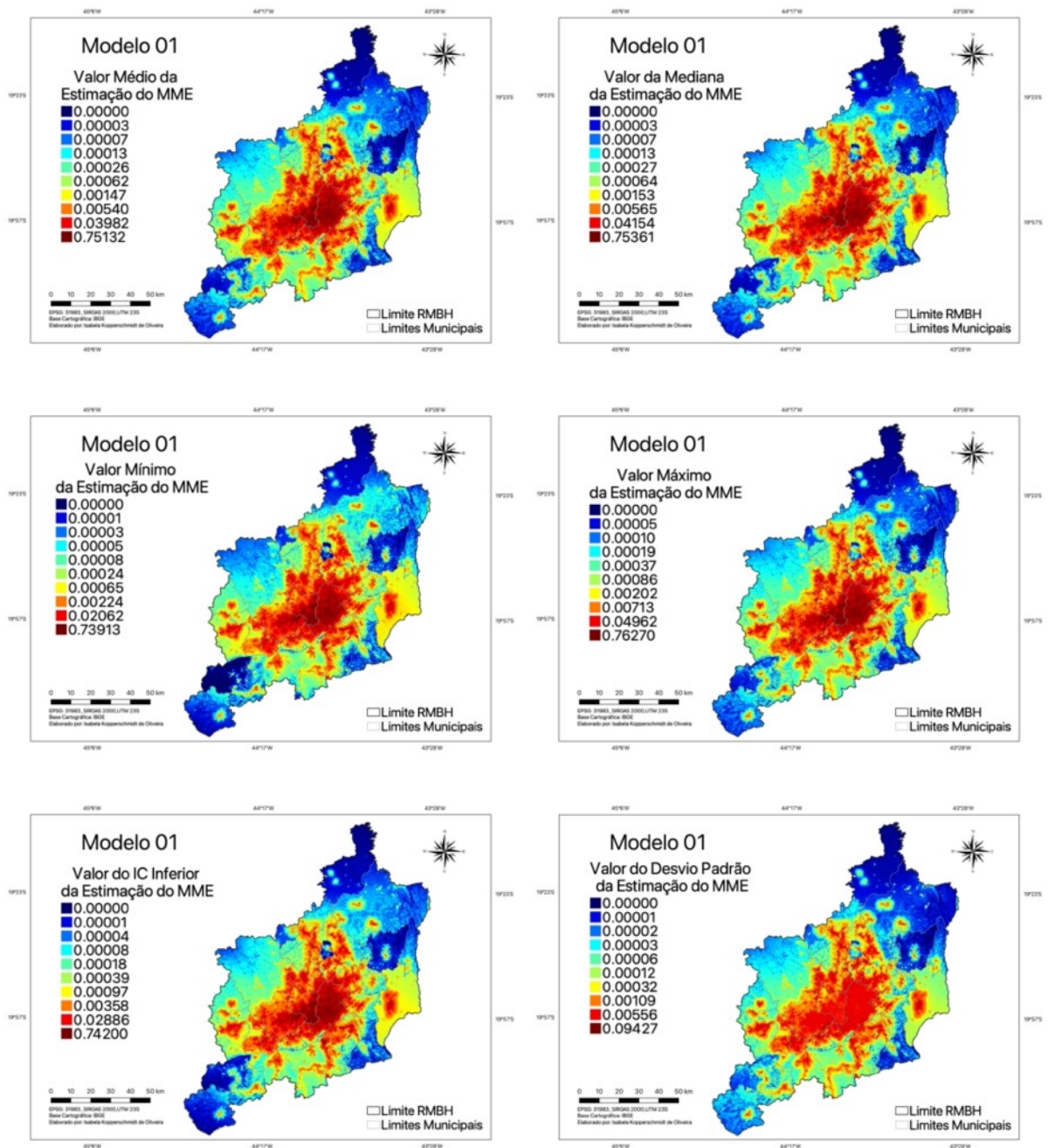
Fator	VIF	Conclusão
Aeródromo	30.65	Colinear
Taxa de Atividade	2.991	Não colinear
Comércio	3.91	Não colinear
Densidade Populacional	40.47	Colinear
Dutovia	7.59	Não colinear
Declividade	1.17	Não colinear
Emprego	9.23	Não colinear

Esgoto	2.93	Não colinear
Ferrovia	6.00	Não colinear
IDHM	9.31	Não colinear
Indústria	6.26	Não colinear
Mancha Urbana	2.32	Não colinear
Mineração	20.45	Colinear
PIB	6.39	Não colinear
População	38.93	Colinear
Renda	10.24	Colinear
Rodovia	5.00	Não colinear
Ruas	4.24	Não colinear
Urbanização	3.12	Não colinear

A Figura 7.21 apresenta uma sequência de representações cartográficas com os valores estimados para o modelo 01, cujas probabilidades foram agrupadas de 0 a 1 em um modelo de escala logarítmica, que foram classificados em 10 quartis com o auxílio do *software* QGIS. Os resultados representam o valor médio estimado para essas 20 repetições. Notou-se que os maiores valores foram estimados para a área central, mais próxima da metrópole (conforme esperado) e os menores valores foram observados nas extremidades (resultado também esperado), visto a grande disparidade socioeconômica existente na RMBH. Desta forma, à medida que se afastou da área central, a probabilidade de localização de ALs diminuiu. Essa tendência que se observou para a média se repetiu nos valores estimados de mediana, mínimo e máximo das repetições, sendo que até os valores dos quartis foram semelhantes, a exceção do penúltimo, que foi o que apresentou uma maior diferença no valor, e que mesmo assim não foi tão grande. O valor médio da estimação do modelo 01 variou de 0 a 0,76, sendo esta a maior probabilidade de um AL se instalar naquela região. O intervalo de confiança (IC) inferior também seguiu a mesma tendência apresentada nas representações cartográficas anteriores e os valores puderam ser considerados dentro do intervalo de confiança. Assim, pôde-se considerar que as estimativas são precisas e representam o fenômeno na vida real. Entretanto, o valor foi mais alto para o último quartil de representação, apontando que neste local a estimativa não foi tão precisa quanto nas outras localidades. Esses locais coincidem com a área central, local em que houve maior riqueza de informação em relação ao entorno, o que torna a informação mais caótica, ou seja, com maior entropia. Por fim, última representação cartográfica dessa figura apresenta o desvio padrão do modelo 01, que variou de 0 a 0,095, valores considerados pequenos e que seguiram a mesma tendência espacial das outras representações. É interessante observar que as representações cartográficas seguem um mesmo padrão. Contudo, a um nível microscópico, os padrões de cores não coincidiram exatamente uns com os outros. E a um nível

macro foi possível observar um padrão de cores em que o centro, mais próximo do município de Belo Horizonte, tendeu para Betim, Contagem e Ribeirão das Neves (a oeste da metrópole), e com um pequeno foco de probabilidade em Caeté. À medida que se afastou da região central, que teve o tom mais quente de todos, a tonalidade foi se transformando para cores mais frias até chegar nas extremidades da RMBH, nos municípios que não apresentaram integração com a metrópole e não possuem ALs instalados de acordo com a base de dados.

Figura 7.21: Resultados do modelo 01



A maneira como os pontos de ALs foram reamostrados a cada repetição também devem ser analisados, para isso é analisado o *jackknife*. Ele foi analisado em três momentos: durante a

amostragem de treinamento, durante a amostragem de teste e para o cálculo do AUC, conforme mostra a Figura 7.22 e Figura 7.23. O fator “Declividade” foi o que apresentou menor ganho com apenas ele e maior ganho sem ele, indicando que pode ser um fator não muito relevante para explicar esse fenômeno, uma vez que quanto maior o ganho no modelo melhor sua representação do fenômeno. Os fatores “Atividade”, “Dutovias”, “Ferrovias”, “Mineração”, “PIB *per capita*”, “Renda” e “Rodovias” também apresentaram ganho inferior a 1.0 quando considerado apenas o fator. Isso indica que o modelo não é tão sensível a presença dessas variáveis. O comportamento do *jackknife* do AUC foi semelhante ao da amostragem, sendo que o AUC para apenas o fator “Declividade” é inferior a 0,75, bem abaixo do cenário testado com todos os fatores que ultrapassou 0,95. Cabe ressaltar que era esperado que o fator “Rodovias” tivesse um papel mais importante do que demonstrado nessa etapa, por ser o principal sistema de transporte de escoamentos de produtos brasileira. Uma possível explicação é o fato de as rodovias cortarem um trecho relevante de área rural. Por fim, a “Mancha Urbana” foi um dos fatores mais influentes nesse modelo, em conjunto com “Comércios”.

Figura 7.22: *Jackknife* do ganho do modelo 01

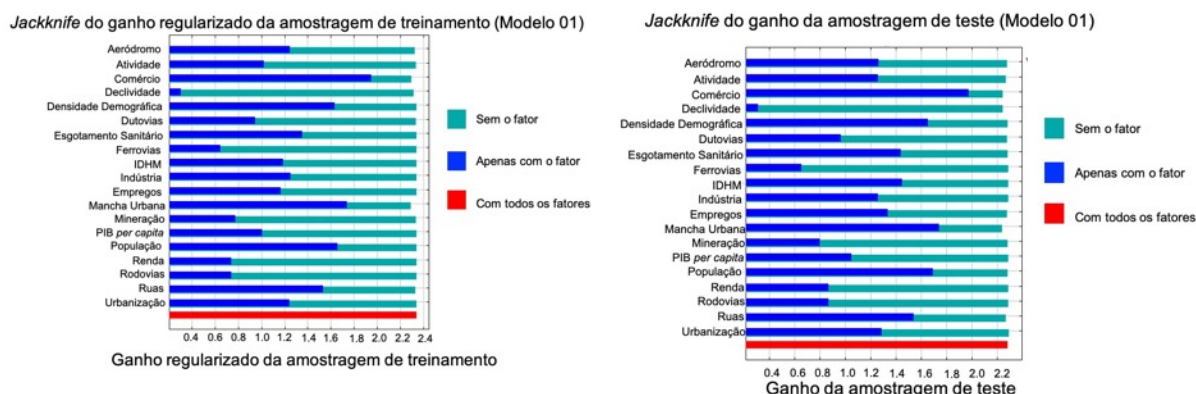
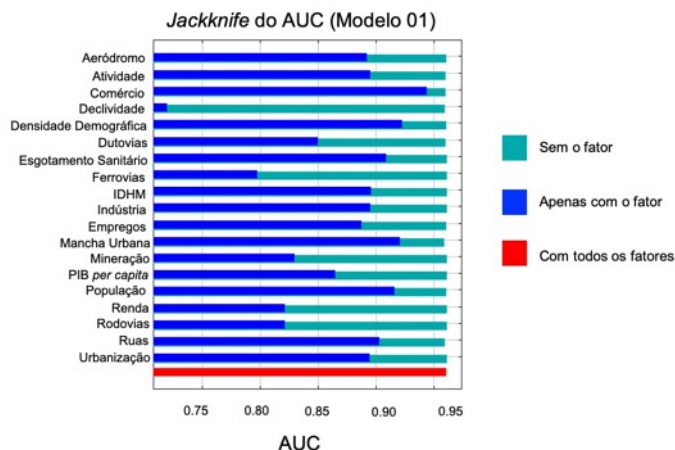


Figura 7.23: *Jackknife* do AUC do modelo 01



Outra contribuição que essa modelagem de Máxima Entropia fornece é poder descobrir qual a contribuição de cada fator na determinação da estimativa da probabilidade de localização de

ALs. Assim, na Tabela 7.2 estão listados os fatores ranqueados a partir de sua maior contribuição na probabilidade final. Para o modelo 10, os três fatores que mais contribuíram foram “Mancha Urbana”, “Ruas” e “Comércio”. O fator “Mancha Urbana” pôde ser considerado o mais importante para esse fenômeno, pois ele foi responsável por 47.3% da contribuição na determinação da probabilidade final. Além disso, é esperado que o parâmetro de permutações seja baixo, pois assim evita ruído nesse fator, sendo que a “Mancha Urbana” foi o que apresentou menor valor de permutação, dentre os três fatores mais relevantes.

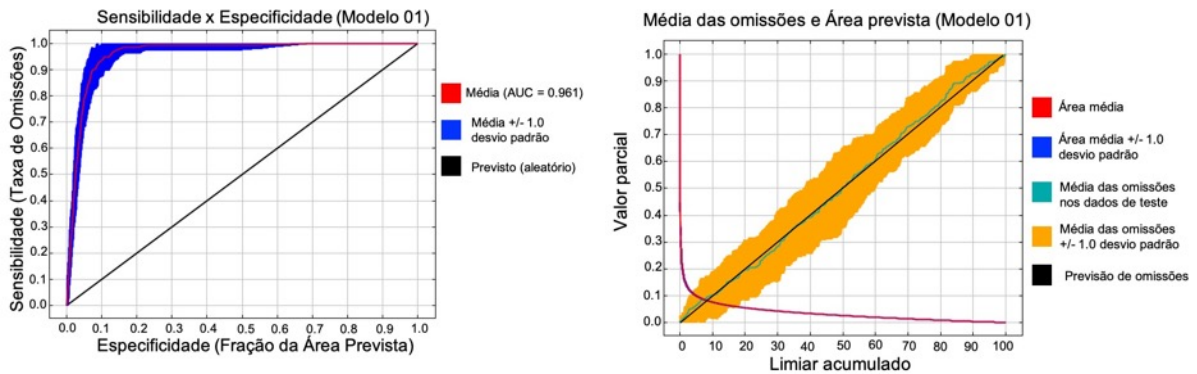
Tabela 7.2: Contribuição dos fatores na composição do modelo 01

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	47.3	7.8
Ruas	19.8	31.7
Comércio	7.7	21.3
População	5.1	4.6
Densidade Populacional	4.5	2.1
Urbanização	2.3	0.5
Esgoto	2.2	6
Renda	2.1	1.2
IDHM	1.3	0.1
Dutovia	1.2	9.2
Indústria	1.1	0.3
PIB <i>per capita</i>	1.1	0.3
Rodovia	0.8	0.6
Emprego	0.8	0.2
Declividade	0.8	2.7
Aeródromo	0.7	8.6
Taxa de Atividade	0.6	1.1
Ferrovia	0.4	0.1
Mineração	0.2	1.5

Para modelos de *machine learning* é comum a utilização de parâmetro de avaliação de desempenho, como os gráficos de “Sensibilidade *versus* Especificidade” (denominação no MAXENT), mais conhecido como curva ROC. É desejável que essa curva, conforme descrito na seção (5), se aproxime do canto superior esquerdo. Ao se observar a parte esquerda da Figura 7.24, se percebeu que o gráfico de “Sensibilidade *versus* Especificidade” para o modelo 01 se assemelhou ao ideal e não apresentou desvio padrão significativo para as 20 repetições. O AUC calculado a partir da curva ROC média foi de 0,961. É necessário analisar a média das omissões para avaliar se esse valor é bom, sendo desejável que seja o mais próximo possível da linha

preta do gráfico da direita da Figura 7.24. Pelo resultado foi possível perceber que, para as 20 repetições, o desvio padrão foi um pouco alargado, entretanto segue a forma da reta de previsão das omissões e a média das omissões dos dados de teste (linha verde) é semelhante à de previsão. Desta forma, pôde se considerar aceitável o nível de omissões desse modelo, e que o valor máximo do AUC foi ligeiramente inferior a 1 em função das omissões. Assim, é possível afirmar que é 0,961 o valor AUC de para o modelo 01 atestando sua validade.

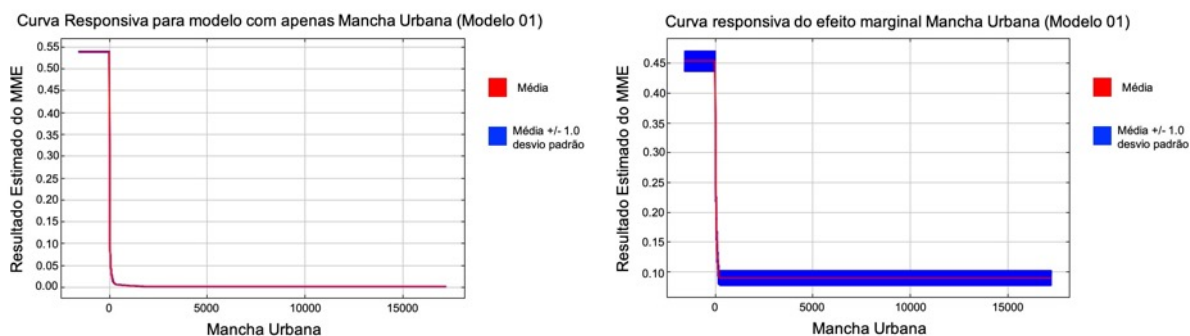
Figura 7.24: Curva ROC e omissões do modelo 01



Por fim, são apresentadas as curvas responsivas, em ordem decrescente do seu percentual de contribuição (conforme Tabela 7.2), para o modelo 01. As curvas com o efeito marginal do fator estão apresentadas à direita, e a curva responsiva em que se representa o efeito marginal do fator isolado no modelo está apresentado a esquerda, considerando os resultados médios para as 20 repetições. O efeito marginal mostra como uma alteração instantânea no valor do fator altera o valor do modelo estimado. É importante ressaltar que, mesmo no eixo das coordenadas aparecendo valores inferiores a zero, esse valor não tem significado real, pois essa extrapolação matemática não representa o fenômeno real.

Para ilustrar, a Figura 7.25 apresentou as curvas responsivas para o fator mais importante do modelo 01, a “Mancha Urbana”. O formato das duas curvas foi bem semelhante, tanto para a curva com apenas o fator sendo considerado no modelo como seu efeito marginal. Foi possível perceber que sua influência ocorreu principalmente quando o valor de seu fator é inferior a zero, ou seja, quando não há significado real para a curva do modelo. Quando passou a ter significado os valores assumidos foram bem próximos a zero e constantes, o que indicou que, embora fator “Mancha Urbana” fosse muito importante para o modelo de Máxima Entropia, ele sozinho não explicou o fenômeno de localização de ALs. Em outras palavras, significa dizer que não é porque a área se encontra em uma zona urbanizada que ela se torna propícia para a instalação de um AL.

Figura 7.25: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 01



O mesmo comportamento também pôde ser observado para os fatores “Ruas” (Figura 7.26) e “Comércio” (Figura 7.27), sendo que as curvas apresentaram formas semelhantes, cuja diferença foi que a curva responsiva de efeito marginal para fator “Ruas” possuiu menor variabilidade, por possuir menor desvio padrão. Ainda, a curva de efeito marginal do fator “Comércio” não apresentou o caráter constante igual aos outros fatores, mostrando que a influência do fator “Comércio” aumentou quanto mais próximo se está dos pontos comerciais. A partir da análise desses três fatores, se pode afirmar que esses três fatores são indispensáveis para a existência dos ALs, entretanto sozinhos não são suficientes para explicar o fenômeno. Assim, se infere que, a inexistência de um dos três desses fatores pode impossibilitar a existência de um AL.

Figura 7.26: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 01

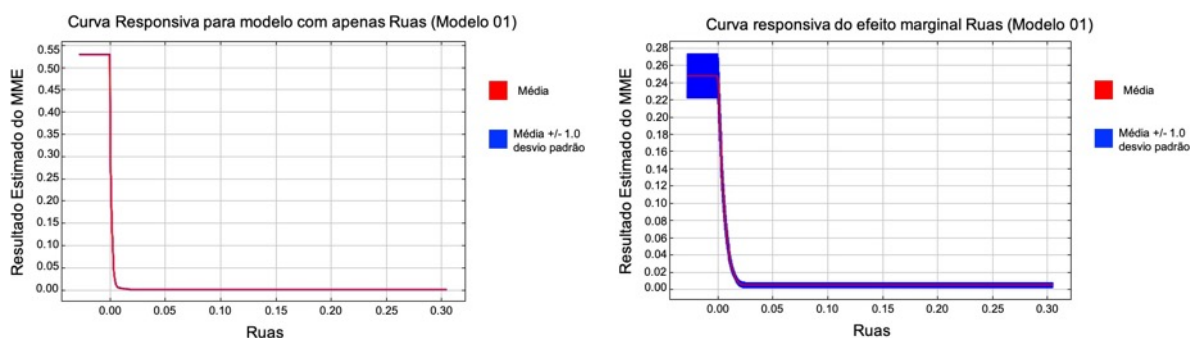
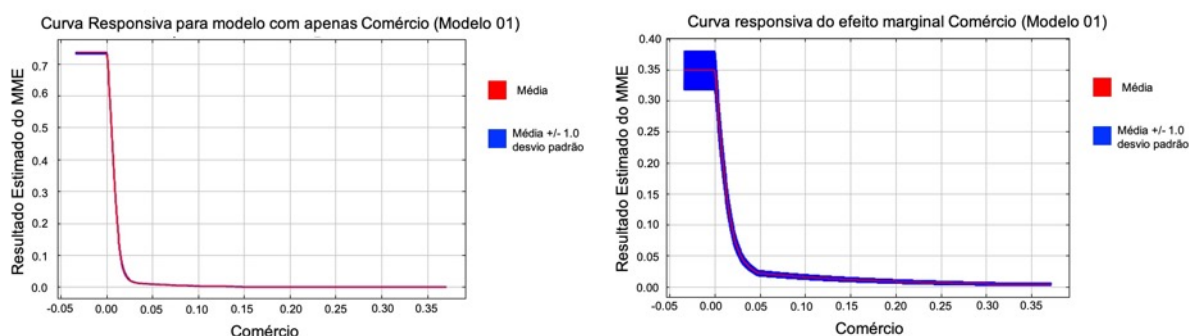
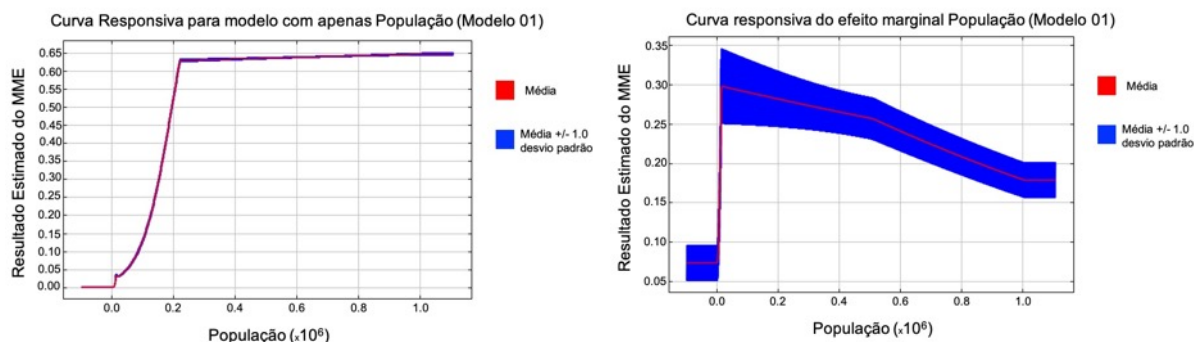


Figura 7.27: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 01



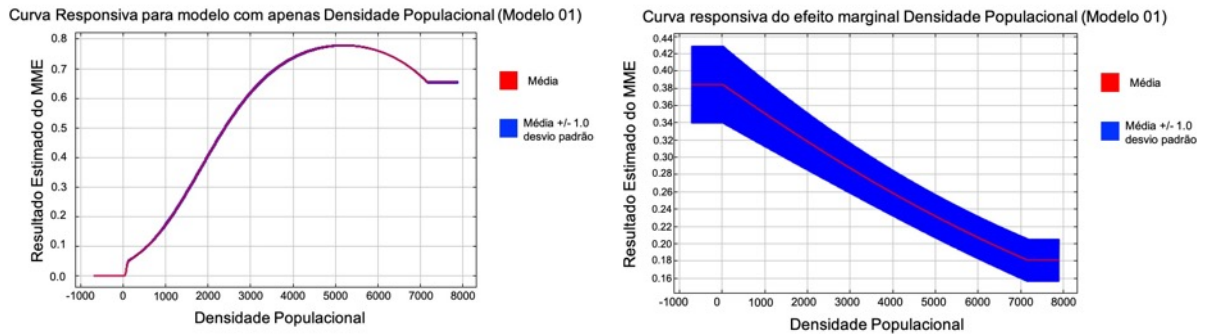
Considerando o fator “População”, a análise da curva responsiva (Figura 7.28) não permitiu observar um padrão como observado para os três fatores anteriores. A curva responsiva considerando apenas a população apresentou salto a partir de 200 mil habitantes, em que o modelo passou a ter valores consideravelmente mais altos e que aumentou timidamente com o aumento da população. Já a curva responsiva do efeito marginal teve o efeito contrário. No modelo global, com todas as variáveis, um incremento na população reduziu o valor estimado para o MME. Uma explicação possível é que uma maior concentração populacional implicou em competição por espaço com os ALs, dificultando assim sua instalação, reduzindo sua probabilidade de instalação naquele local.

Figura 7.28: Curvas responsivas do fator "População" para o modelo 01



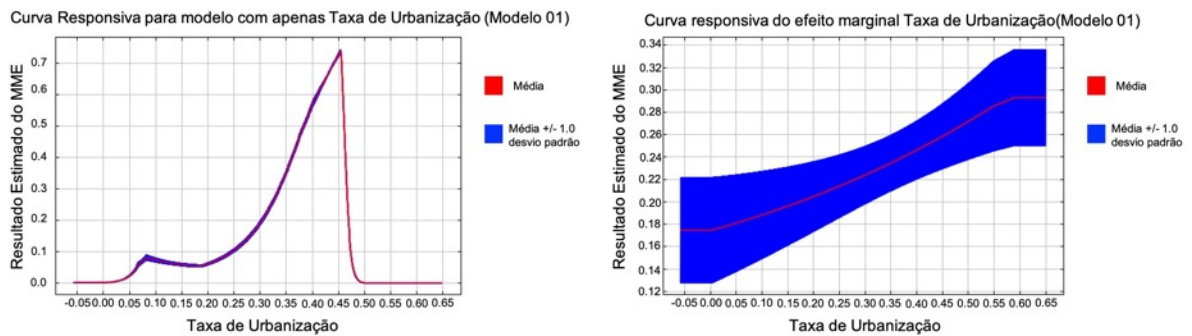
A curva responsiva para o modelo com apenas o fator “Densidade Populacional” (Figura 7.29) teve um comportamento distinto aos observados até o momento. O valor estimado da probabilidade do MME cresceu com o aumento da densidade populacional até atingir um valor máximo, e a partir desse valor a estimativa começou a reduzir seu valor até se estabilizar, demonstrando que existiu um ponto ótimo de adensamento populacional que favoreceu a localização de ALs. Já a curva do efeito marginal decaiu com o aumento da densidade populacional, indicando que um incremento no fator diminuiu o tanto que o mesmo interfere na estimativa do modelo 01.

Figura 7.29: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 01



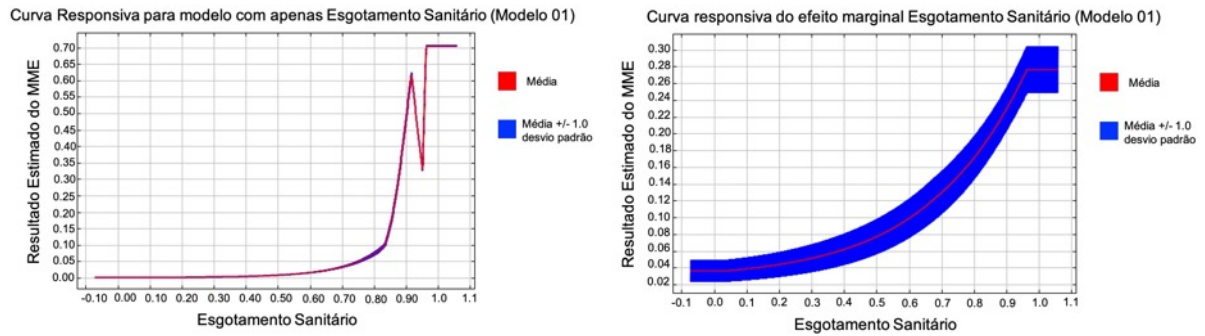
A Figura 7.30 apresenta as curvas responsivas para o fator “Taxa de Urbanização”. Essa curva apresentou dois picos para trechos da curva ascendentes e dois picos para a trechos da curva descendentes. Foi possível perceber que quando o modelo variou entre 0,20 e 0,40, ele saiu de seu extremo inferior menos acentuado (0,1) e atingiu seu maior valor (0,7) sendo uma variação de mais de 700%, demonstrando que as condições de urbanização foram bastante relevantes na localização dos ALs. O mesmo pôde ser dito da análise da curva responsiva do efeito marginal do fator “Taxa de Urbanização”, que aumentou sua influência na estimação do MME conforme se aumentou o valor do fator, ou seja, quanto melhores são as condições de infraestrutura urbana, maiores as probabilidades de se localizarem ALs na região.

Figura 7.30: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 01



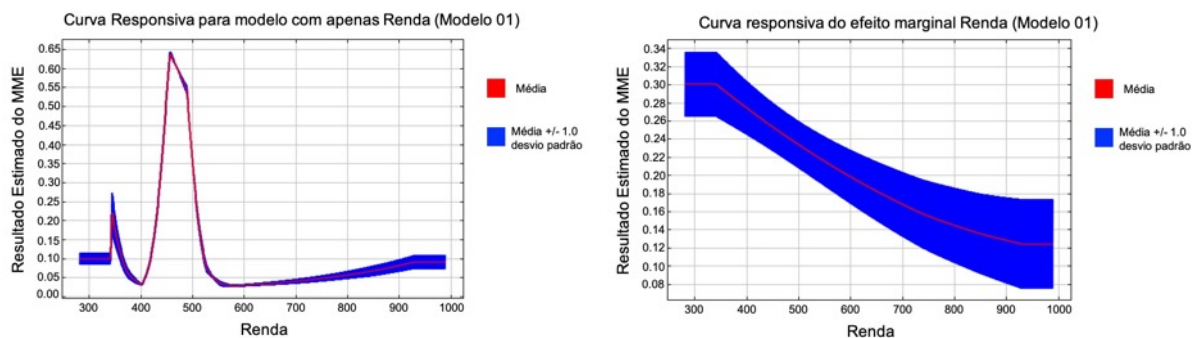
O fator “Esgotamento Sanitário” (Figura 7.31) se refere a taxa de esgotamento sanitário adequado do município, e analisa as condições de coleta e tratamento do esgoto e é uma taxa que possui alta discrepância entre os municípios da RMBH. Analisando sua curva responsiva, observou-se que o local se tornou atrativo a implantação de ALs para apenas para taxas acima de 80%, o que demonstrou a necessidade de infraestrutura instalada que esse tipo de instalação logística demanda. A curva responsiva do efeito marginal teve similar interpretação, demonstrando que os maiores valores possuíram maior efeito no valor final no modelo.

Figura 7.31:: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 01



A Figura 7.32 ilustra as curvas responsivas para o fator “Renda”. Em relação a curva responsiva de efeito marginal do MME, se observou que quanto maior a renda, menos esse fator influenciou no valor estimado. Já a curva responsiva para apenas o fator “Renda” se observou que há um valor, não muito alto, para qual o modelo adquiriu seu maior valor, ou seja, a probabilidade de localização de armazéns foi maior. Isso pode ter ocorrido pois locais onde a renda é mais alta tendem a ter o custo da terra mais elevado. Entretanto, também não é interessante se localizar nos locais onde a renda é a mais baixa possível, pois a renda também é um indicativo de inexistência de mercado consumidor, mão de obra e infraestrutura urbana.

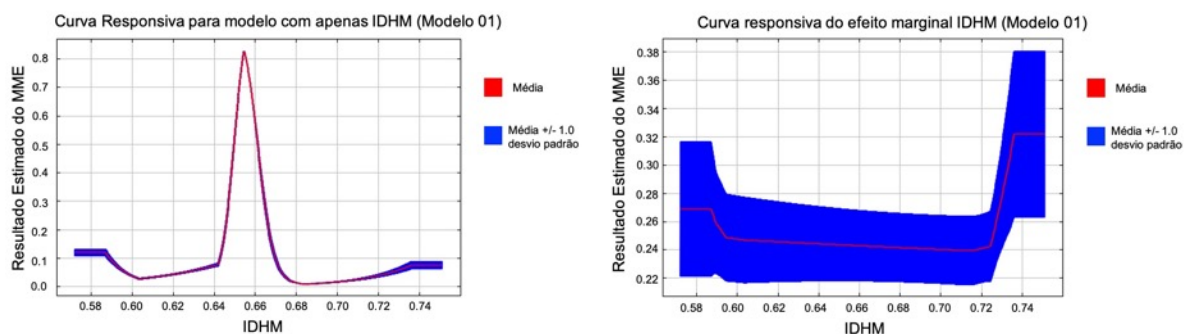
Figura 7.32: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 01



As curvas responsivas para o fator “IDHM” estão ilustradas na Figura 7.33. A curva responsiva para apenas o “IDHM” se assemelhou a uma curva normal, onde foi possível observar claramente um pico onde há um ponto ótimo onde a estimação do MME atingiu seu valor mais alto, e esse valor foi de um IDHM médio, de aproximadamente 0.65. Isso indica que os ALs necessitam de boa infraestrutura para se instalarem, mas a partir de certo ponto não é vantajoso sua instalação, por encarecer os custos de instalação, operação e manutenção. A curva responsiva do efeito marginal apresentou por três platôs, o primeiro intermediário, seguido por um mais baixo e terminando por um bem mais alto. Grande parte da curva marginal foi composta por esse platô mais baixo, sendo quase constante a maneira como o fator “IDHM”

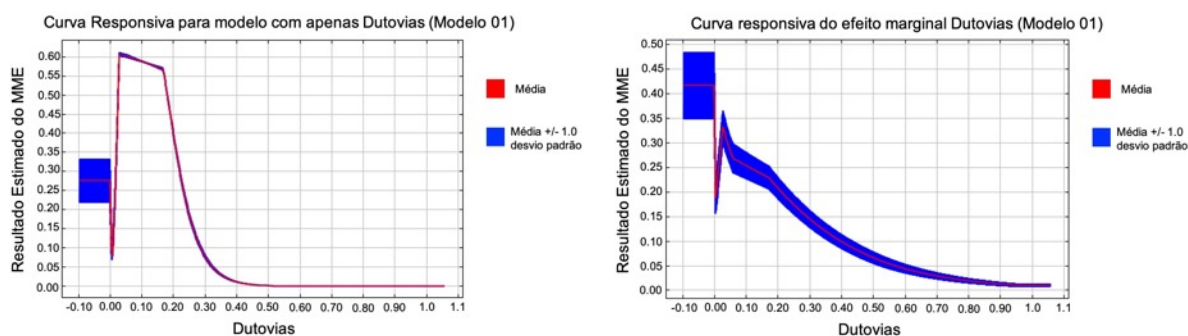
interfere na estimação do MME. Com isso, foi possível inferir que mudanças no IDHM não necessariamente alteram a probabilidade de localização dos ALs.

Figura 7.33: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 01



O sistema de dutos não é um modo de transporte muito utilizado nessa região metropolitana, estando presente apenas no território de Brumadinho, Sarzedo e Ibirité, municípios que utilizam desse sistema para transporte de minério. As curvas responsivas para o fator “Dutovias” estão presentes na Figura 7.34. Pela curva responsiva para apenas o fator analisado, percebeu-se um máximo da estimação da probabilidade quando se está próximo ao sistema de dutos e o valor tendeu a zero à medida que se afasta. Pela a curva responsiva do efeito marginal, observou-se uma maior influência quando o fator tem valores menores, ou seja, os ALs se localizam mais próximos ao sistema de dutos. Isso pode ser explicado pois o sistema de dutos deve ligar os pontos de origem e destino diretamente, sendo esperado que um AL cujo produto seja abastecido por dutos esteja localizado nas proximidades do sistema de dutos.

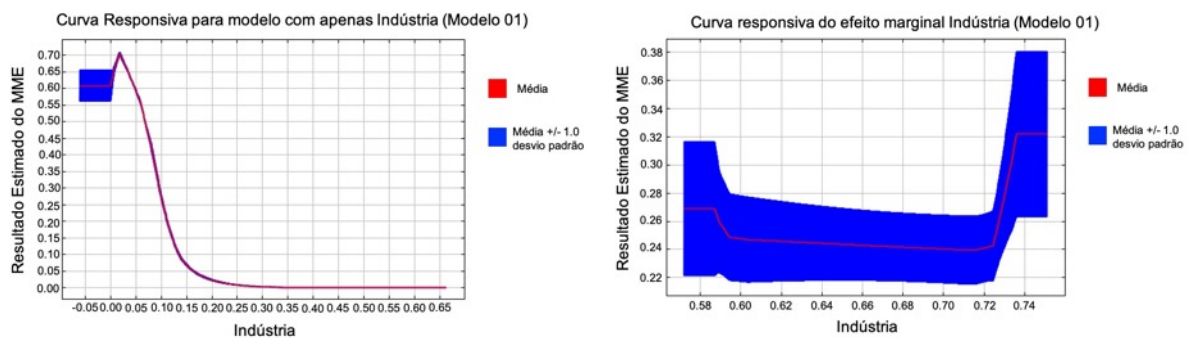
Figura 7.34: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 01



As indústrias ocupam um papel importante na RMBH, principalmente nos municípios de Betim, Contagem e Santa Luzia, que possuem zonas industriais relevantes para o contexto nacional. A Figura 7.35 apresenta as curvas responsivas para o fator “Indústria”. A curva responsiva para o fator analisado de maneira isolada apresentou seu maior valor de estimação quando a distância

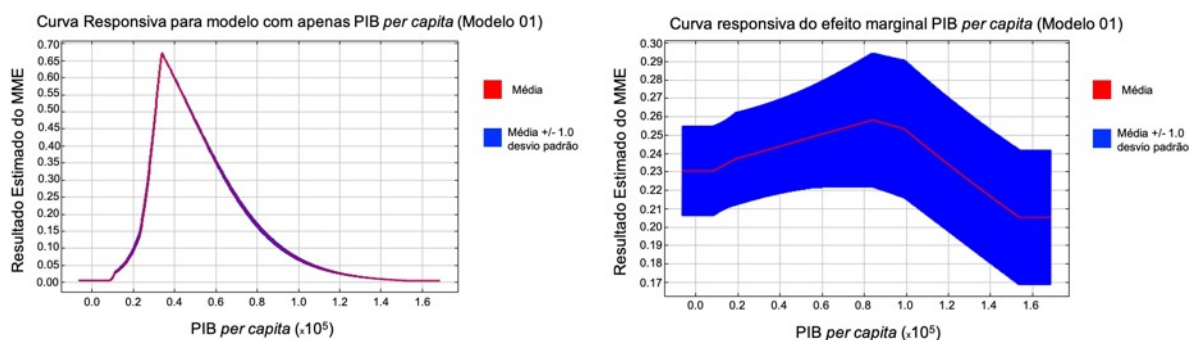
das zonas industriais foi bem pequena, e decaiu rapidamente, tendendo a zero à medida que se afasta dessas zonas. A partir da análise dessa curva pôde-se concluir que os ALs se beneficiaram da proximidade dos seus fornecedores e também da infraestrutura e incentivos fiscais propiciados pelas zonas industriais. A curva responsiva do efeito marginal desse fator apresentou um resultado não esperado. Ele apresentou três platôs e demonstrou que no modelo global, o afastamento das zonas industriais não influenciou de maneira tão acentuada como esperado, pois à medida que a distância foi aumentando, o efeito que a alteração desse fator teve na estimação do MME se manteve praticamente constante.

Figura 7.35: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 01



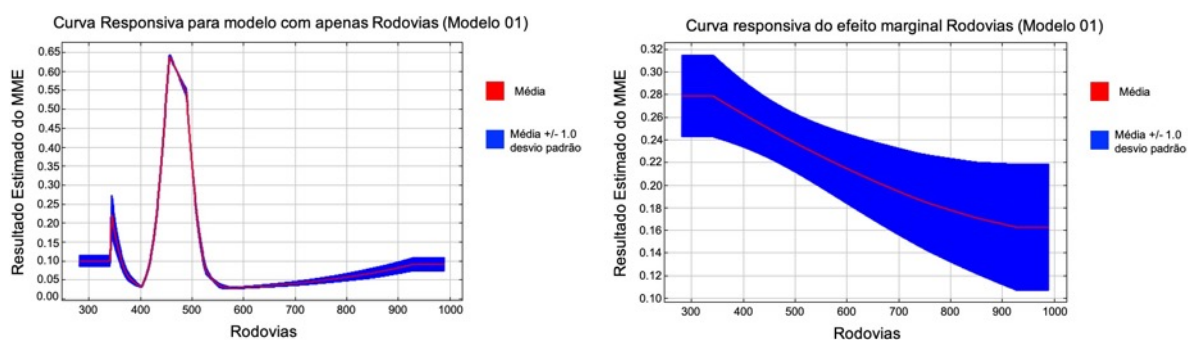
A Figura 7.36 representa as curvas responsivas para o fator “PIB *per capita*”. A curva responsiva para apenas o fator “PIB *per capita*” seguiu a mesma lógica dos fatores “Renda” e “IDHM” em que houve um ponto ótimo em que o valor da estimação atingiu seu valor máximo, pois a partir daquele valor, os custos para implantação e operação do AL começam ser grandes. O mesmo efeito pôde ser comprovado com curva responsiva do efeito marginal do fator “PIB *per capita*”, pois ela também possuiu como característica atingir um máximo e decair, assim, existiu um valor para qual o a alteração no valor do PIB *per capita* influenciou mais no valor final da probabilidade estimada no MME.

Figura 7.36: Curvas responsivas do fator "PIB *per capita*" para o modelo 01



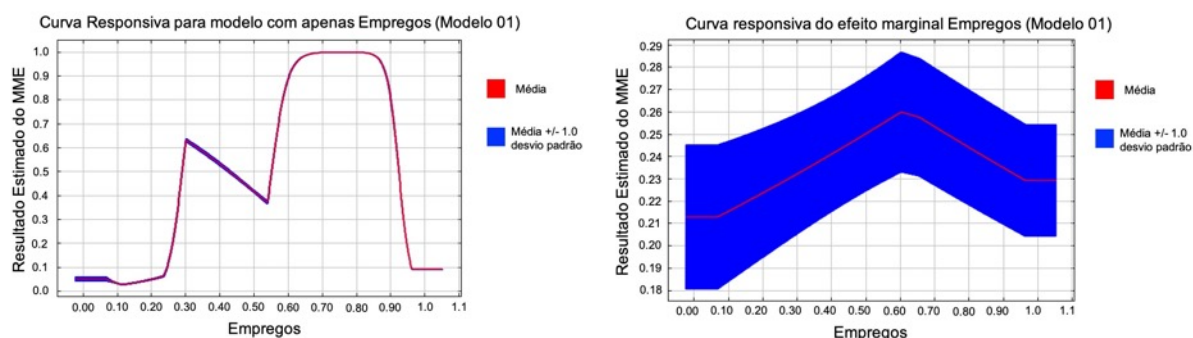
Ao contrário do sistema de dutos, as rodovias são o principal sistema de transporte de carga regional dessa RM, sendo inclusive um resultado não esperado o fator “Rodovias” não ter sido mais influente no modelo 01. A Figura 7.37 tem a representação da curva responsiva para o fator “Rodovias”. Para a curva responsiva do efeito marginal do fator no modelo, percebeu-se que quanto mais próximo da rodovia maior a influência do fator, ou seja, quanto mais próximo da rodovia, maior foi o incremento na probabilidade na estimação. Para a curva responsiva com apenas o fator analisado foram observados dois picos de máximo, sendo um bem superior ao outro, e o maior pico foi observado a uma maior distância das rodovias, mas não muito distantes, sendo que do gráfico se observa que esse pico se encontra por volta do valor 450 de 1000 obtido a partir da ferramenta de distância euclidiana. Com isso foi possível inferir que o sistema de rodovias é muito importante para a mobilidade, mas o sistema capilar, que fornece a acessibilidade aos ALs é tão importante quanto o sistema de rodovias.

Figura 7.37: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 01



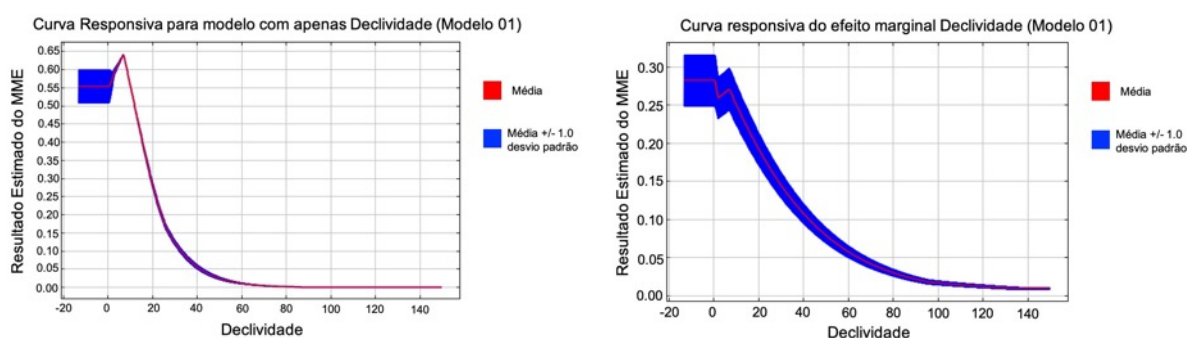
Na Figura 7.38 estão presentes as curvas responsivas para o fator “Empregos”. Para a curva responsiva com apenas o fator “Empregos” observou-se um platô (entre os valores 0,60 e 0,90) para qual o fator estimado da probabilidade tange 1. Isso implicou que em locais cuja taxa de emprego foi maior, houve maior probabilidade de localização de ALs, podendo ser explicado pela maior potencial de um mercado consumidor, bem como pela disponibilidade de mão de obra. A curva responsiva do efeito marginal apresentou um pico para o valor ao qual ele mais influenciou no MME, mas no geral a variação foi pequena para esse parâmetro.

Figura 7.38: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 01



A RMBH apresenta um território bem acidentado, por isso é importante analisar a declividade. A Figura 7.39 apresenta as curvas responsivas para o fator “Declividade”. Para a curva responsiva considerando apenas o fator analisado para estimar o MME, observou-se o maior valor para as declividades menores, e para as declividades mais extremas o valor tendeu a zero, pois muitos desses lugares não possuem nem condições para construção de um AL tamanha a declividade. Os locais com menores inclinação não só tem menores custos de implantação por exigirem menor custo com movimentação de terra, mas torna a manobra e o acesso dos veículos de carga mais fáceis, sendo assim, os locais com menores declividade possuíram maior probabilidade de instalação de ALs. A curva responsiva do efeito marginal para o modelo 01 para o fator analisado também permitiu realizar semelhante análise, pois os valores com menor declividade, são aqueles que possuíram maior efeito no resultado da estimação do MME, e à medida que se aumentou esse valor reduziu o efeito marginal até zero, nos locais onde as declividades são tão extremas que impedem a construção de ALs.

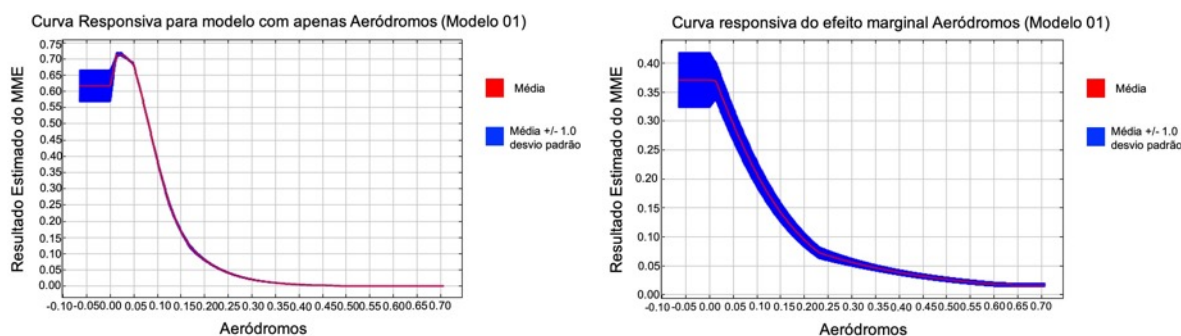
Figura 7.39: Curvas responsivas do fator "Declividade" para o modelo 01



A curva responsiva para apenas o fator “Aeródromos” (Figura 7.40) apresentou um pico para os locais bem próximo aos aeródromos que depois decaíram tendendo a zero, demonstrando que a localização próxima a aeroportos para certos tipos de ALs pode representar uma vantagem competitiva. A mesma conclusão pôde ser retirada da curva responsiva do efeito marginal desse

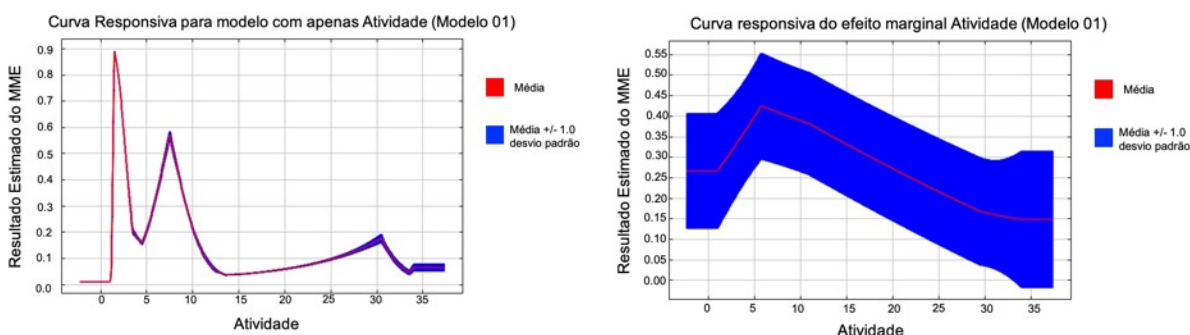
fator para o modelo 01, cuja maior variação ocorreu quando os ALs estão localizados próximos aos aeroportos.

Figura 7.40: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 01



A Figura 7.41 traz a representação das curvas responsivas para o fator “Atividade”. A curva responsiva que consta apenas o fator no modelo foi a que apresentou maior oscilação. Esse resultado sugere a necessidade de considerar os setores de atividade, pois essa oscilação pode ter ocorrido em decorrência das diferentes vocações municipais dentro da RMBH, que nem sempre são atrativas para instalação de ALs. Por outro lado, a curva responsiva do efeito marginal já foi mais estável e apresentou menor variação, provavelmente por esse fator já ser um dos fatores com menor contribuição no MME.

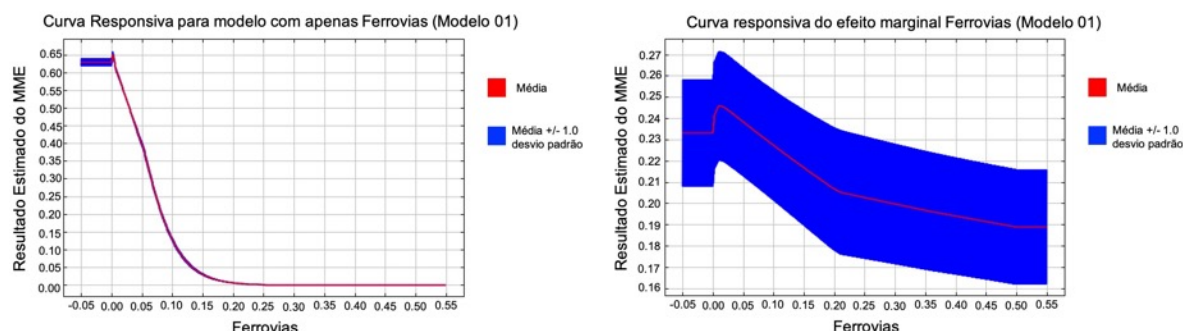
Figura 7.41: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 01



As ferrovias também são parte fundamental da rede de mobilidade da RMBH e são parte da história da constituição de diversos municípios, assim como são muito ligados a atividade minerária e de escoamento de produção. A Figura 7.42 ilustra as curvas responsivas para o fator “Ferrovias”. A curva responsiva para o efeito marginal do modelo 01 indicou que à medida que se afastou das ferrovias, ela se tornou menos influente no modelo, ou seja, uma alteração nesse parâmetro passou a alterar menos a estimação do MME. A curva responsiva para apenas o fator “Ferrovias” indicou que a proximidade de ferrovias foi também um fator importante para

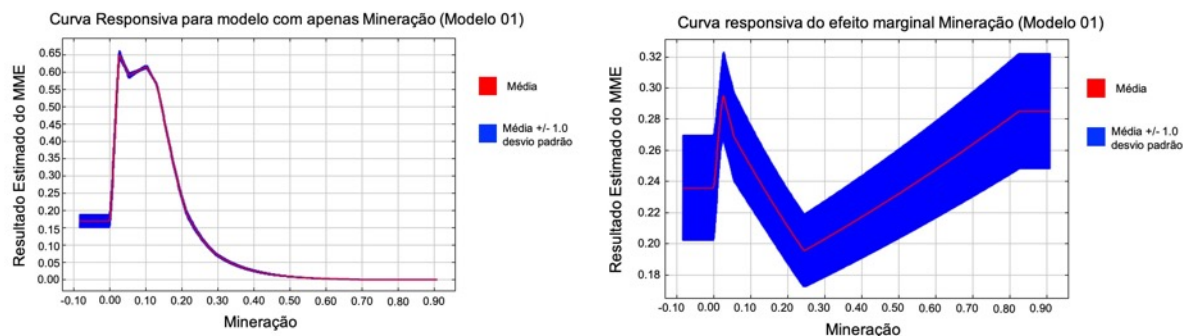
localização de ALs, pois maiores valores foram encontrados mais próximos a elas e à medida que se afastou da mesma esse valor tendeu a zero. Também ficou evidente, assim como nas rodovias, a necessidade de uma rede capilar, nesse caso, uma rede multimodal de integração entre as ferrovias e os ALs.

Figura 7.42: Curvas responsivas do fator "Ferrovia" para o modelo 01



O fator “Mineração” foi o fator que apresentou a menor influência no MME, muito provavelmente devido ao fato de as mineradoras usarem seu próprio sistema de armazenagem. Entretanto, ainda sim foi possível observar que tal fator tem influência na localização dos ALs, pois os mesmos podem ser fornecedores de insumos para as mineradoras, demonstrados pelas curvas responsivas ilustradas na Figura 7.43. A curva responsiva considerando apenas o fator “Mineração” demonstrou que a proximidade com os locais de mineração forneceu os maiores valores de probabilidade da estimação. Já a curva responsiva para o efeito marginal desse fator no MME do modelo 01 possuiu o formato semelhante a um “V”, em que o primeiro pico ocorreu nos pontos próximos aos locais onde foi identificada a atividade minerária, demonstrando que para os ALs que se interessarem em serem fornecedores dessa atividade é interessante se localizarem nas suas proximidades. Esse valor, no entanto, decaiu até atingir um mínimo, e depois continuou a subir, demonstrando que os ALs analisados nesse modelo não possuíam muitos produtos de ligados a atividade minerária.

Figura 7.43: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 01



Considerando os resultados do modelo 01, tem-se:

- O núcleo da RMBH composto por Belo Horizonte, Betim, Contagem e Ribeirão das Neves, foi a região onde a estimativa do MME apresentou os maiores valores de probabilidade de localização de ALs;
- As bordas da RMBH, composta pelos municípios com menor integração com a metrópole, foram aqueles com a menor probabilidade de localização de ALs;
- A presença de pontos comerciais, vias urbanas e área urbana foram fundamentais para a existência de ALs, influenciando diretamente na localização de ALs. Entretanto, a pouca variação em seu efeito marginal demonstrou que esses são fatores base no processo de seleção na localização de ALs, embora não sejam critérios para determinar a localização;
- É necessário ter um número significativo de habitantes para se observar a probabilidade de instalação de ALs. Entretanto, altos valores de população reduziram a probabilidade de instalação de ALs, assim como existe um valor de densidade populacional máximo para a instalação de ALs. O adensamento populacional gera especulação imobiliária, aumentando o custo da terra e tornando a legislação mais restritiva;
- As condições de infraestrutura urbana foram fatores determinantes no processo de escolha do local de instalação dos ALs, sendo que quanto melhor as condições fornecidas pelas cidades, maiores foram a probabilidade de os ALs se instalarem em determinado território;
- Embora os ALs se beneficiam da infraestrutura e incentivos fiscais das zonas industriais e da proximidade de seus fornecedores ao se localizarem próximos a zonas industriais, o afastamento da mesma não indicou que o local terá menor probabilidade de ter um AL;
- Um sistema robusto de rodovias é importante, mas o mesmo deve estar assistido de vias capilares para permitir acessibilidade aos ALs;
- A topografia pode não ser um fator determinante para escolher a localização de um AL, porém situações em que a declividade é extrema pode-se descartar o local por impossibilidade construtiva e de acesso;
- Mesmo se encontrando bastante sucateadas, as ferrovias mineiras ainda foram importantes atratores para os ALs, entretanto é necessário atentar para a ligação capilar entre os ALs e as ferrovias;
- Mesmo apresentando colinearidade para dois fatores, o valor de AUC e o formato da curva ROC validam o modelo 01 exclusivamente para a RMBH.

7.2.2 Modelo 02

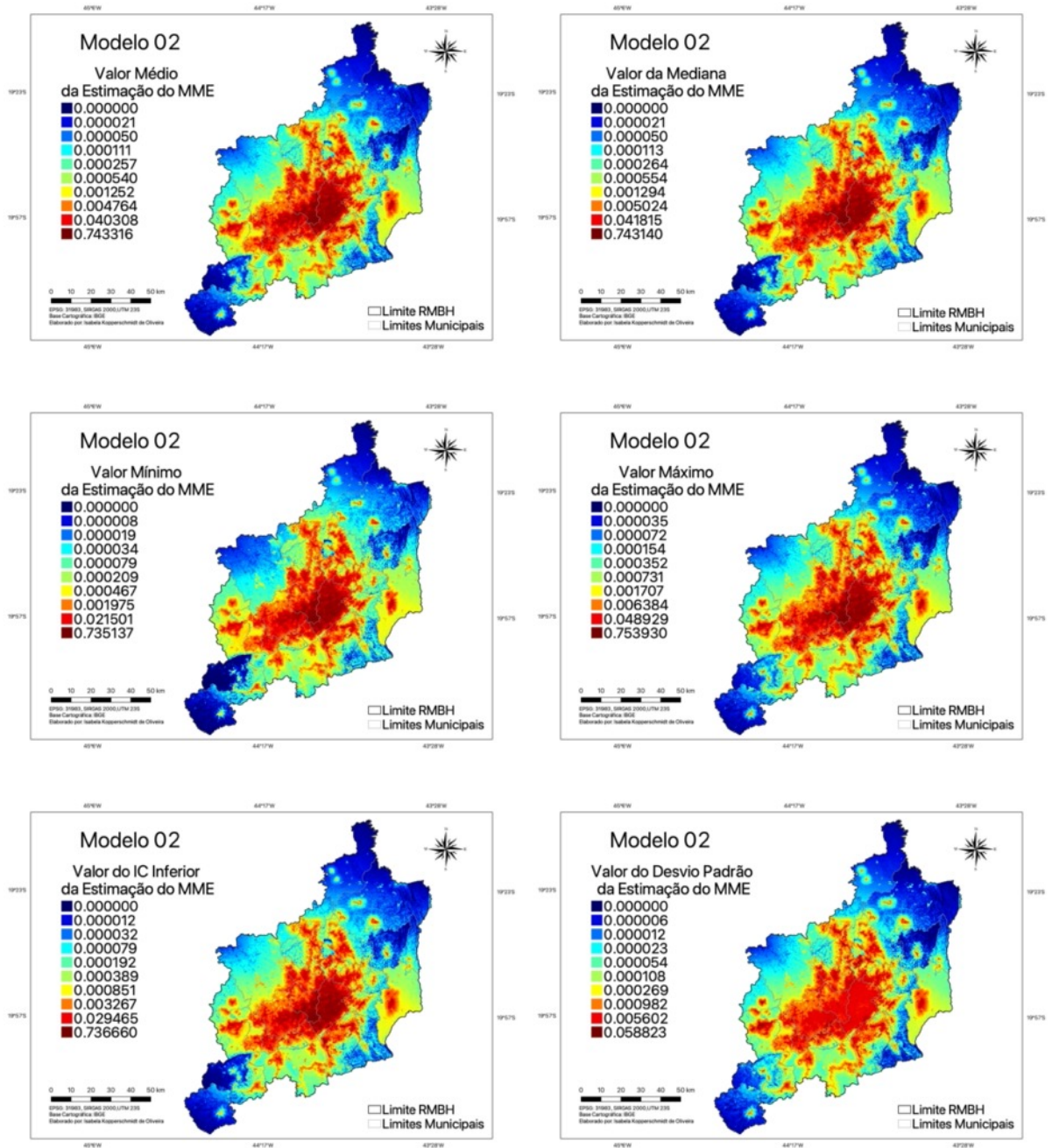
O modelo 02 foi estimado sem os fatores “Aeródromos” e “Densidade Populacional”, que apresentaram colinearidade com o teste de VIF. Para o cálculo do VIF, foi considerado o valor limite de 10, conforme explanado na seção de método, utilizando o comando “vifstep”. O valor de VIF para os demais fatores considerados no modelo estão listados na Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 02

Modelo 02	
Fator	VIF
Taxa de Atividade	2.70
Comércio	3.50
Dutovia	6.45
Declividade	1.15
Emprego	8.46
Esgoto	2.42
Ferrovia	5.20
IDHM	8.90
Indústria	5.76
Mancha Urbana	2.32
Mineração	2.77
PIB	6.08
População	3.36
Renda	9.49
Rodovia	4.45
Ruas	4.26
Urbanização	3.05

O modelo 02 se assemelhou bastante ao modelo 01. Os padrões de cores formados foram semelhantes sendo que, ao centro da RMBH houve o predomínio dos tons quentes, onde ocorreram os maiores valores da estimação do modelo e à medida que se afastou da metrópole os tons se tornaram mais frios, reduzindo seu valor da estimação. As representações cartográficas com esses padrões estão presentes na Figura 7.44. Essas representações seguiram padrões semelhantes nas distribuições de cores, inclusive a representação da estimação do IC inferior. Os valores de desvio padrão observados foram pequenos, outro indicativo da robustez do modelo.

Figura 7.44: Resultados do modelo 02



Na Figura 7.45 estão ilustrados os gráficos de *jackknife* para o modelo 02. Tanto para a amostragem de treinamento quanto para amostragem de teste do algoritmo, o ganho observado quando se considera apenas para o fator “Declividade” foi o menor. Os fatores cuja contribuição isolada também foi inferior a 1 foram “Dutovias”, “Ferrovias”, “Mineração”, “Renda” e “Rodovias”. Nesse modelo os fatores “Atividade” e “PIB *per capita*” apresentaram maior ganho quando comparado aos resultados do modelo 01, ultrapassando 1. Para o *jackknife* do AUC (Figura 7.46) se observou uma conformação semelhante aos gráficos de *jackknife* do

ganho, com o fator “Declividade” apresentando um AUC próximo a 0,70 enquanto o AUC do modelo foi superior a 0,95.

Figura 7.45: *Jackknife* do ganho do modelo 02

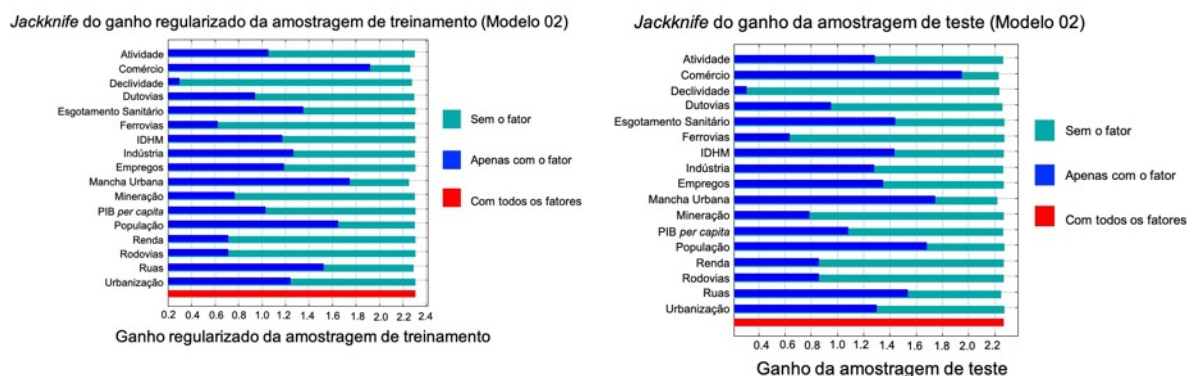
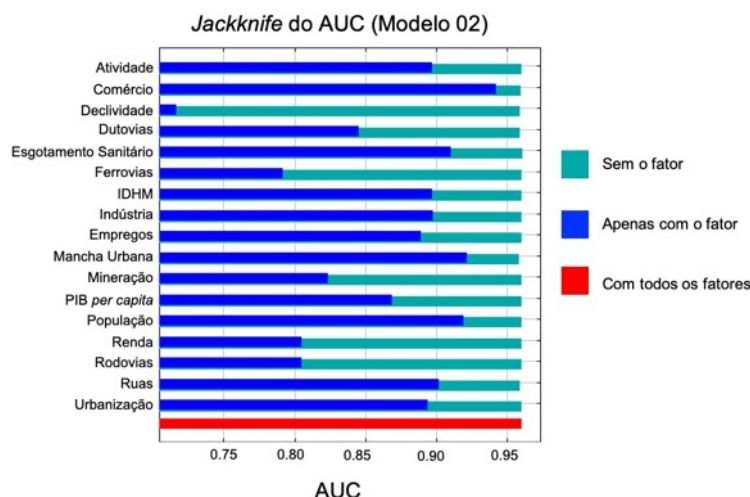


Figura 7.46: *Jackknife* do AUC do modelo 02



A Tabela 7.4 apresenta a contribuição de cada fator na composição do algoritmo final. Novamente, os fatores mais importantes foram “Mancha Urbana”, “Ruas” e “Comércio”, entretanto aqui o fator com menor contribuição foi o “PIB *per capita*”. Também houve a alteração na ordem no percentual de contribuição de cada fator, que será analisado posteriormente na seção 7.3.

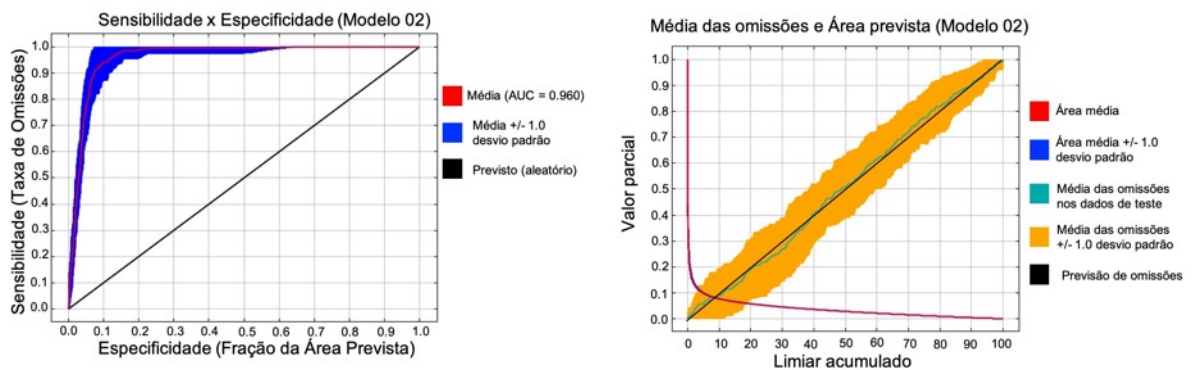
Tabela 7.4: Contribuição dos fatores na composição do modelo 02

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	50.8	11.3
Ruas	19	36
Comércio	8.9	14.3
População	4.9	3.2
Esgoto	4.4	1.4
Urbanização	2.6	0.3

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Renda	1.8	0.6
IDHM	1.3	0.5
Dutovia	1.1	12.6
Declividade	1.1	4.5
Indústria	0.9	5
Rodovia	0.9	0.1
Emprego	0.6	0.2
Ferrovia	0.5	1.3
Taxa de Atividade	0.5	2.1
Mineração	0.4	5.2
PIB <i>per capita</i>	0.2	1.3

Para esse modelo também se observou o formato próximo ao ideal da curva ROC e um alto valor do AUC (0,960), que em conjunto com as omissões próximo ao esperado e uma pequena parcela de área prevista com omissões, pôde-se validar esse modelo. Esses resultados estão ilustrados na Figura 7.47.

Figura 7.47: Curva ROC e omissões do modelo 02



As curvas responsivas para o modelo 02 se assemelharam em forma ao modelo 01, assim será realizada uma análise mais sucinta das mesmas. Para o fator “Mancha Urbana” observou-se que as duas curvas responsivas (Figura 7.48) tenderam a zero a medida eu se afastou da área urbana. O mesmo se aplicou para o fator “Ruas” (Figura 7.49).

Figura 7.48: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 02

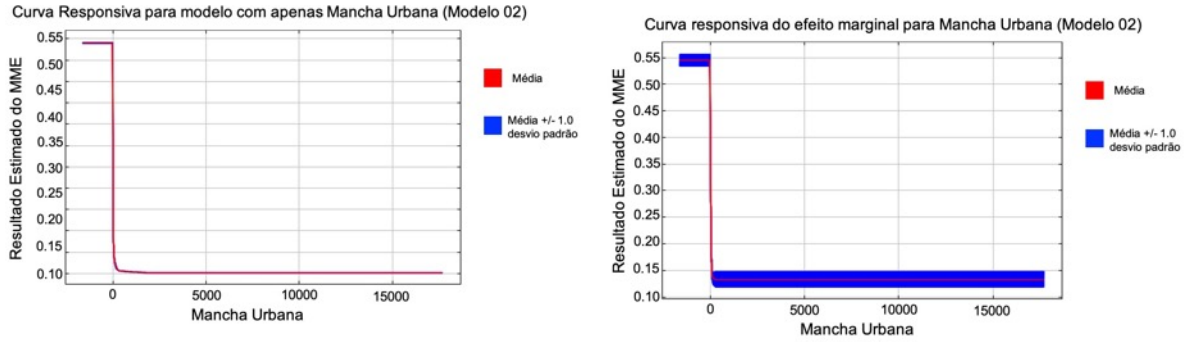
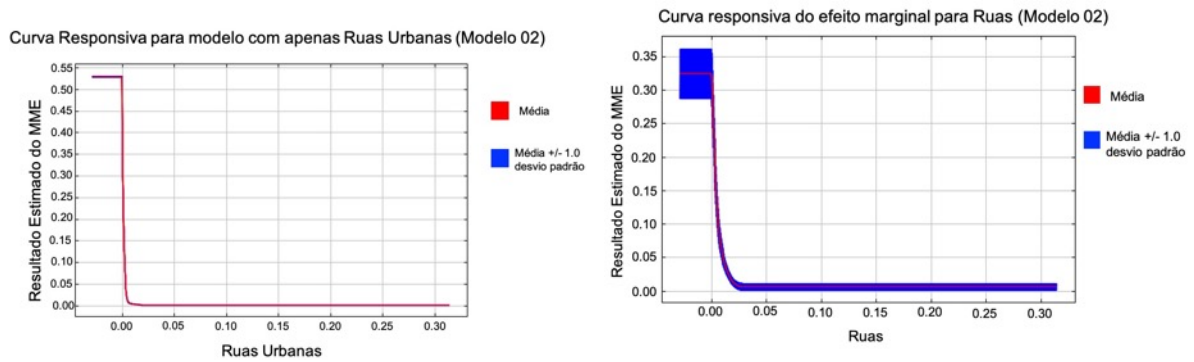
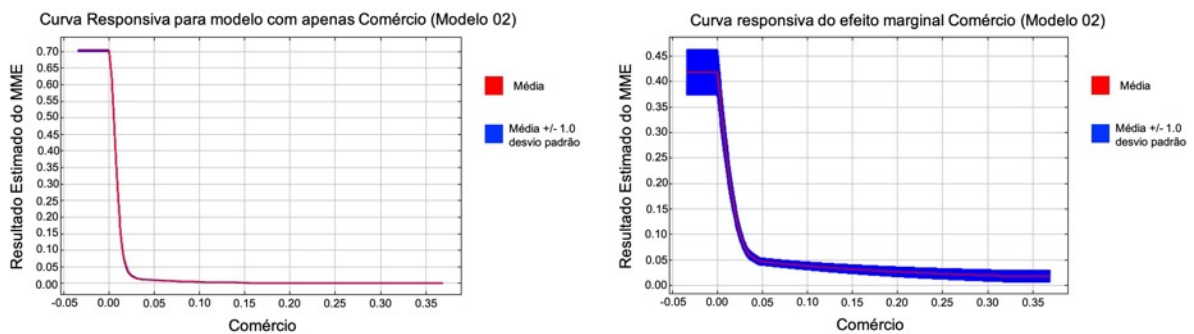


Figura 7.49: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 02



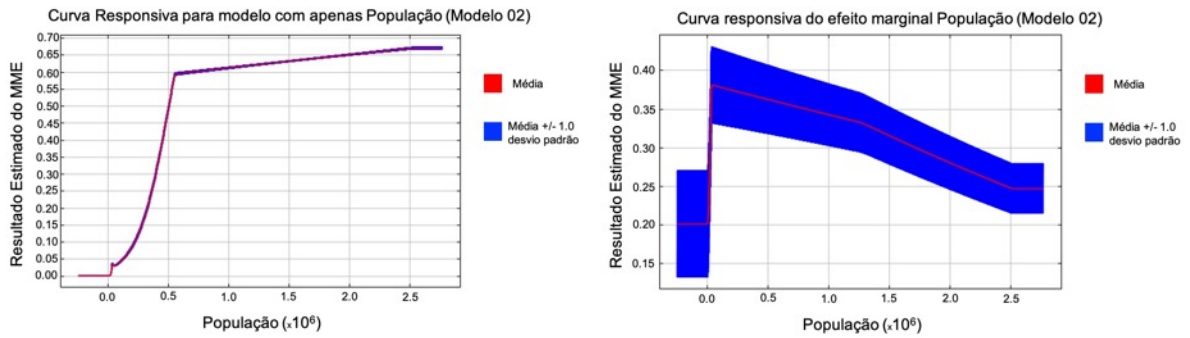
O fator “Comércio” teve a curva responsiva para apenas o fator tendendo a zero, mas sua curva responsiva de efeito marginal iniciou no intervalo de 0,40 a 0,45 e decaiu até zero. Esse comportamento pode ser observado na Figura 7.50.

Figura 7.50: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 02



A Figura 7.51 apresenta a curva responsiva para o fator “População”. A curva para apenas o fator indicou um aumento na estimação com o aumento do valor do fator, enquanto a curva responsiva para o efeito marginal demonstrou que o impacto que o fator possuiu na estimação reduziu com o aumento da população.

Figura 7.51: Curvas responsivas do fator "População" para o modelo 02



Para o fator “Esgotamento Sanitário” (Figura 7.52) percebeu-se que até um valor (80%) quase não houve probabilidade de localização de AL, sendo que a estimação do MME atingiu valores mais altos apenas quando ao fator também atingiu valores mais altos, evidenciado na curva responsiva apenas para o fator. A sua curva responsiva do efeito marginal demonstrou a relevância desse fator, que aumentou à medida que seu valor aumentou. Em relação ao fator “Urbanização” (Figura 7.53), apesar das curvas terem apresentado formatos diferentes, as observações podem ser semelhantes ao fator “Esgotamento Sanitário”.

Figura 7.52: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 02

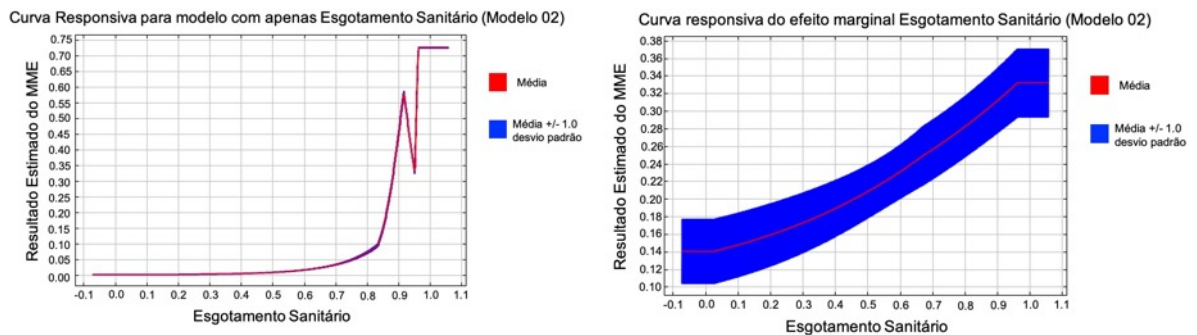
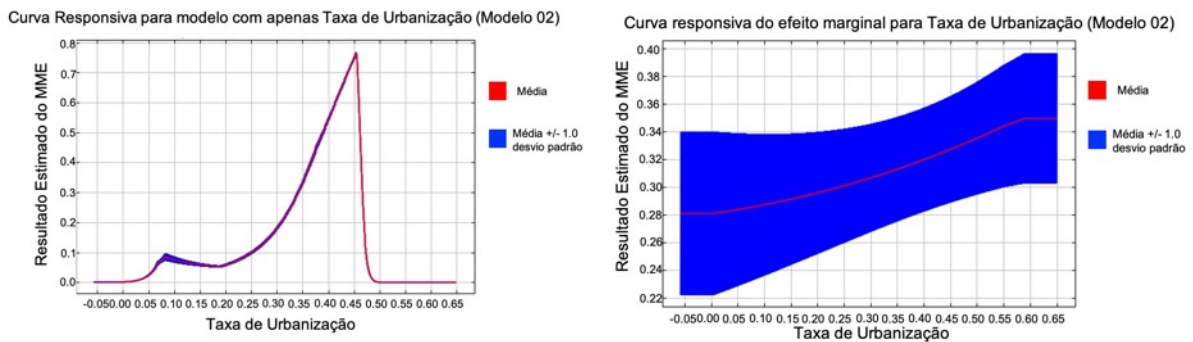


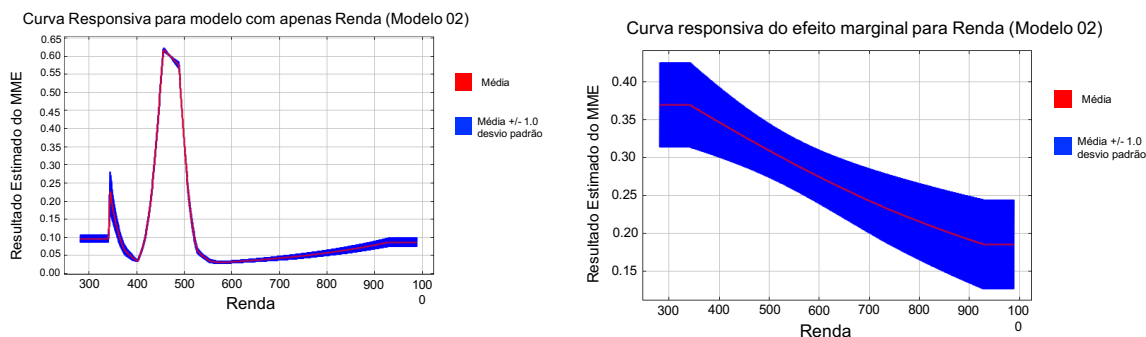
Figura 7.53: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 02



As curvas responsivas para o fator “Renda” se encontram na Figura 7.54. Pela curva responsiva de efeito marginal se percebeu que a influência do fator decaiu com seu aumento, e pela curva

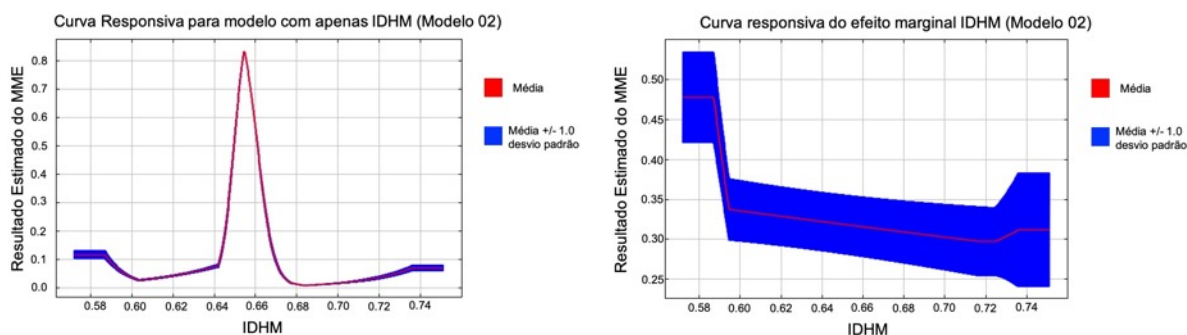
responsiva para apenas o fator se percebeu que há um valor ótimo de renda média para o qual a localização de ALs foi mais propícia, pois a estimação do MME atingiu seu máximo e em seguida decaiu.

Figura 7.54: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 02



Na Figura 7.55 se encontram as curvas responsivas para o fator "IDHM". Para apenas o fator isolado, a curva responsiva aproximou-se de uma distribuição normal, atingindo seu auge no valor de aproximadamente 0,65. A curva responsiva do efeito marginal se constituiu por três platôs, mas o principal e intermediário não se constitui por uma reta constante, mas sim uma reta decrescente.

Figura 7.55: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 02



A duas curvas responsivas para o fator "Dutovias" apresentaram comportamentos semelhantes (Figura 7.56). Ambas apresentaram seu maior valor para a estimação do MME com os menores valores para o fator e tenderam a zero à medida que o fator aumentou de valor. Os fatores "Declividade" (Figura 7.57) e "Indústria" (Figura 7.58), mesmo apresentando formas de curvas diferentes, se assemelharam ao comportamento das curvas responsivas do fator "Dutovias".

Figura 7.56: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 02

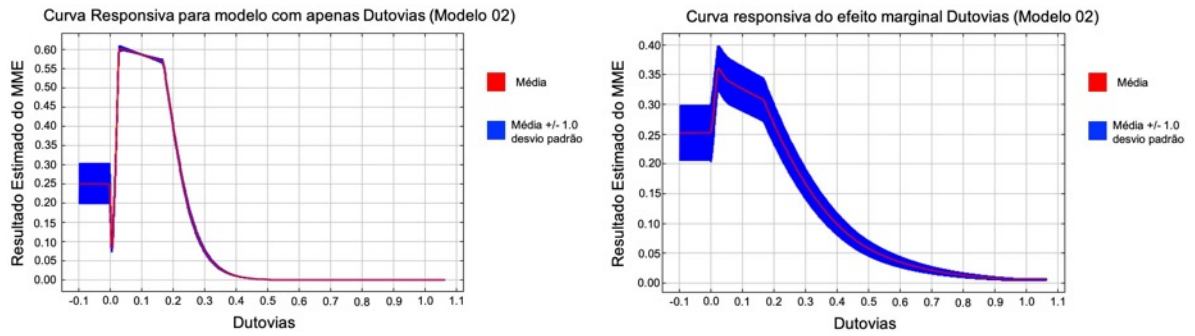


Figura 7.57: : Curvas responsivas do fator "Declividade" para o modelo 02

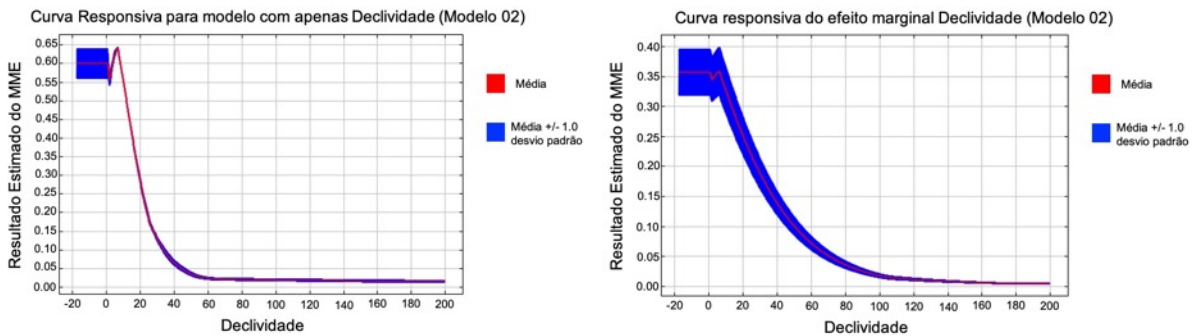
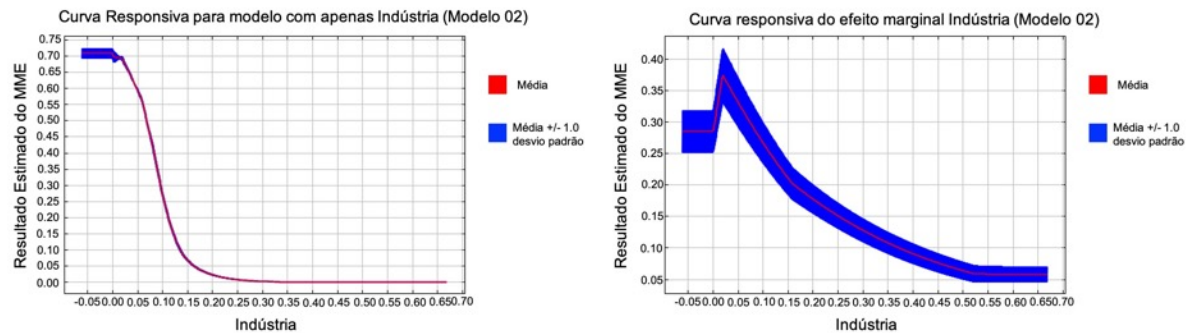
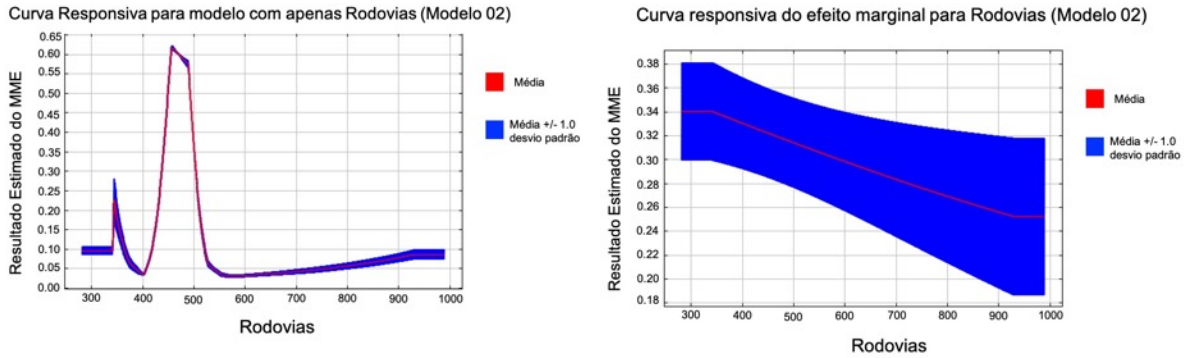


Figura 7.58: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 02



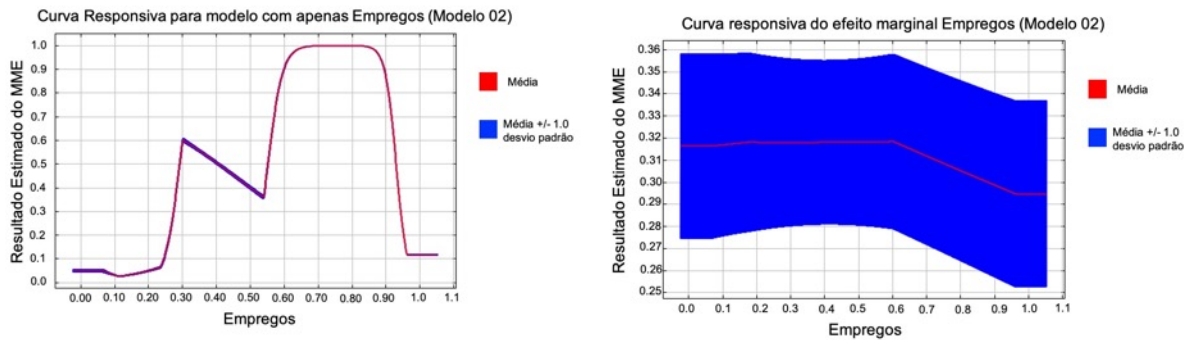
As curvas responsivas para o fator “Rodovias” estão presentes na Figura 7.59. Na curva responsiva para apenas o fator analisado percebeu-se que há um valor ótimo do fator, que maximiza a estimação do modelo, esse valor correspondeu a um ponto próximo da rede de rodovias, mas não exatamente coincidente com a mesma. A curva responsiva do efeito marginal demonstrou que a relevância do fator na estimação do modelo 02 reduziu com o incremento no seu valor.

Figura 7.59: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 02



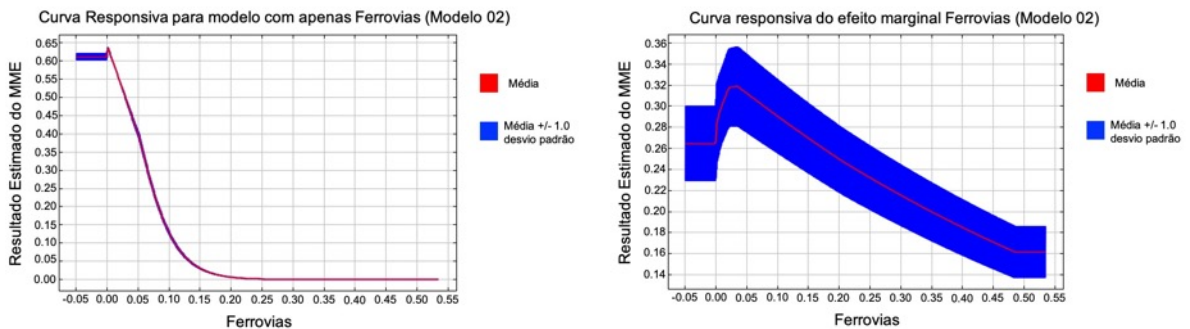
A curva responsiva do efeito marginal do fator “Empregos” mostrou que o efeito deste na estimação foi praticamente constante. Já curva responsiva para apenas o fator em questão mostrou que houve um intervalo para qual o fator tornou a estimação do MME maximizada. Esses resultados podem ser observados na Figura 7.60.

Figura 7.60: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 02



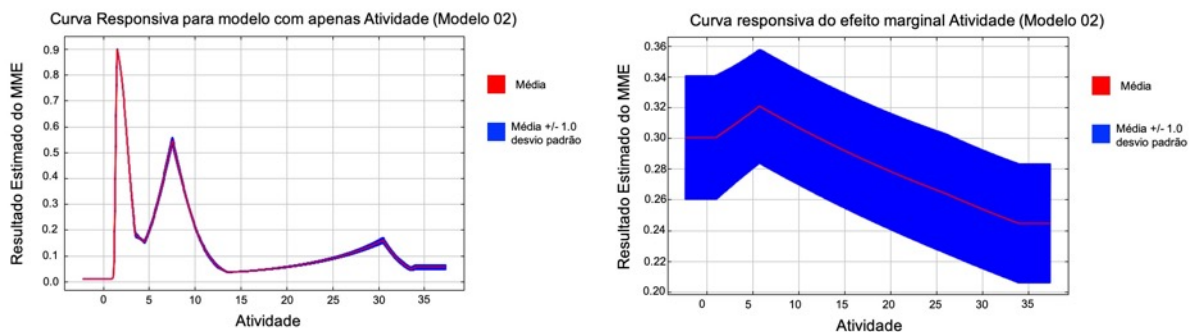
As duas curvas responsivas para o fator “Ferrovias” (Figura 7.61) apresentaram comportamento semelhantes. Quanto menor o valor do fator, maior foi seu impacto na estimação do modelo.

Figura 7.61: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 02



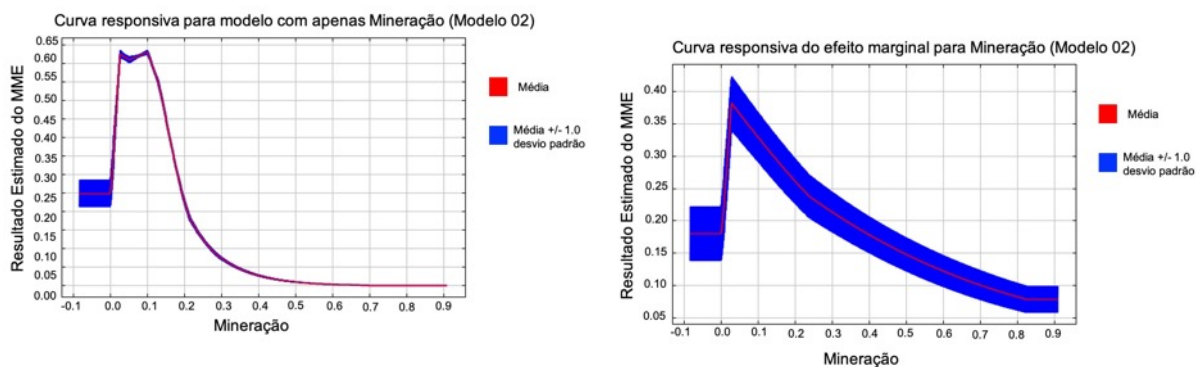
Na Figura 7.62 estão presentes as curvas responsivas para o fator “Atividade”. A curva responsiva para apenas o fator “Atividade” apresenta grande oscilação em seu valor de estimação da MME. Já a curva responsiva do efeito marginal apresenta um pico em seu princípio e depois decai.

Figura 7.62: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 02



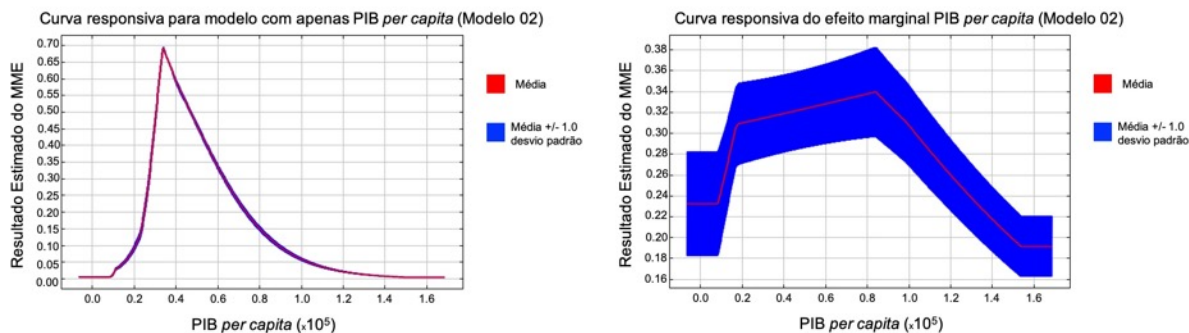
Apesar do fator “Mineração” não ter sido o com menor contribuição neste modelo, suas curvas responsivas apresentam forma semelhantes às do modelo 01 conforme Figura 7.63. As duas curvas apresentam comportamentos semelhantes, em que quanto maior o valor do fator, menor o valor estimado.

Figura 7.63: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 02



O fator “PIB *per capita*” foi o fator com menor contribuição para o modelo 02 e suas curvas responsivas estão ilustradas na Figura 7.64. A curva responsiva para apenas fator apresentou um pico para a estimação do modelo para um valor de PIB *per capita* de intermediário à baixo. A curva responsiva de efeito marginal apresentou um comportamento semelhante, que forma um pico, entretanto mais suave, e o valor em que o fator se tornou mais importante na estimação do modelo 02 é para valores mais altos.

Figura 7.64: Curvas responsivas do fator "PIB *per capita*" para o modelo 02



Dada a semelhança com o modelo 01, as conclusões para o modelo 02 similares:

- O núcleo da RMBH, composto por Belo Horizonte, Betim, Contagem e Ribeirão das Neves, foi onde a probabilidade de localização dos ALs atingiu o maior valor;
- Os municípios localizados nas bordas da RMBH, foram aqueles com a menor probabilidade de localização de ALs;
- A presença de pontos comerciais, vias urbanas e área urbana são fundamentais para a existência de ALs;
- A população influenciou negativamente na probabilidade de instalação de ALs;
- As condições de infraestrutura urbana foram fatores determinantes no processo de escolha do local de instalação dos ALs;
- Embora os ALs se beneficiam da infraestrutura e incentivos fiscais das proximidades dos embarcadores, o afastamento da mesma não indicou que o local terá menor probabilidade de ter um AL;
- Uma rede de rodovias robusta é importante para a localização, principalmente se associada com vias capilares para permitir acessibilidade aos ALs;
- A topografia não foi um fator determinante para escolher a localização de um AL;
- O valor de AUC e o formato da curva ROC validam o modelo 2 para a RMBH.

7.2.3 Modelo 03

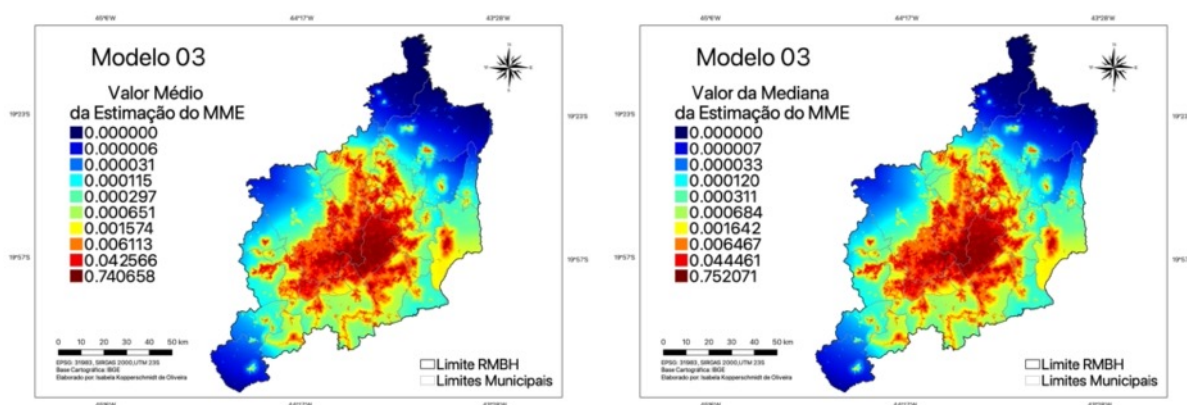
O modelo 03 buscou analisar apenas os efeitos dos fatores referentes ao grupo “uso do solo” e “sistema de transportes”, pois seu principal objetivo foi avaliar como essas características influenciam na localização dos ALs. A análise de colinearidade indicou que o fator “Aeródromo” apresentou colinearidade, sendo este retirado como fator (variável independente) do modelo. Os resultados do fator VIF para os demais fatores estão presentes na Tabela 7.5.

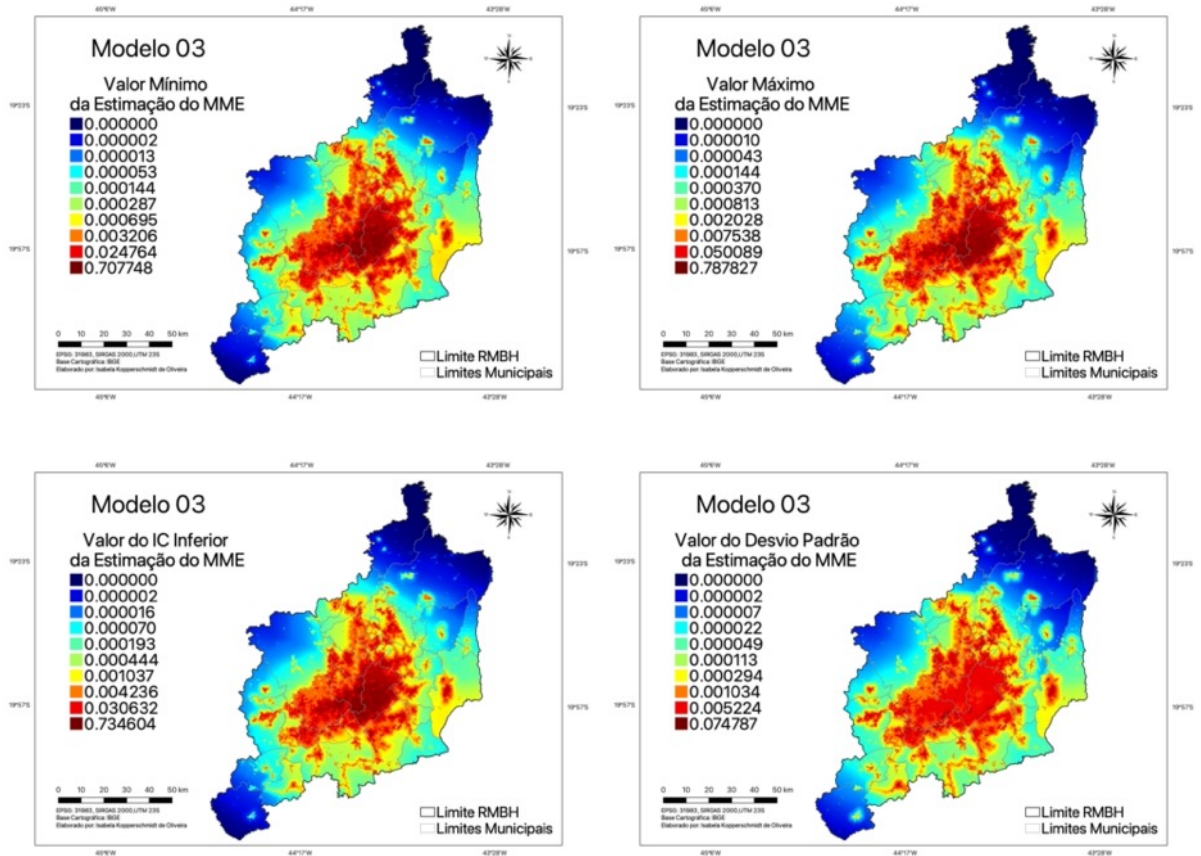
Tabela 7.5: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 03

Fator	VIF
Dutovia	3.52
Ferrovia	4.38
Rodovia	3.37
Rua	2.98
Comércio	2.94
Indústria	3.80
Mancha Urbana	2.09
Mineração	2.25

As representações cartográficas das estimativas do modelo 03 para as 20 repetições estão ilustradas na Figura 7.65. Os resultados indicaram que o último quartil, onde houve maior probabilidade estimada, concentrou-se em Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ribeirão das Neves e Santa Luzia. À medida que se afastou do núcleo da RMBH, a probabilidade de ocorrência de ALs diminuiu consideravelmente. Nesse modelo foi possível perceber os traços do fator “Mancha Urbana” e “Ruas”, sendo provavelmente eles os fatores mais influentes nesse modelo. O modelo se confirmou como sendo preciso, pois as representações cartográficas seguiram os padrões da representação do IC inferior e o desvio padrão foi baixo.

Figura 7.65: Resultados MME do modelo 03



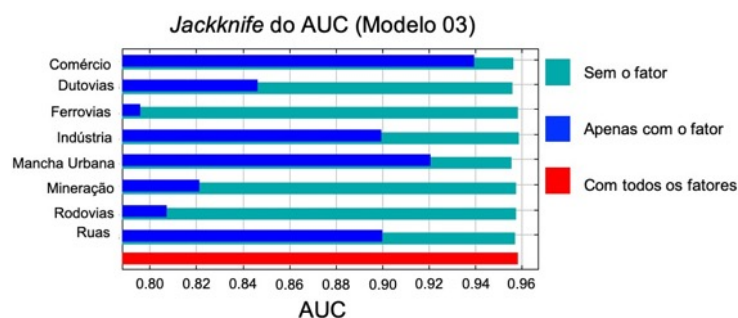


A análise dos gráficos de *jackknife* demonstram que os fatores com menor ganho de amostragem e treinamento foram “Ferrovias”, “Mineração” e “Rodovias”, sendo que o fator “Dutovias” também apresentou ganho inferior a 1. O mesmo padrão pôde ser observado no *jackknife* do AUC. Nele observou-se que o AUC dos fatores “Indústria” e “Ruas”, isoladamente, são bem semelhantes, e o fator com maior AUC isolado foi o “Comércio”. Esses resultados estão ilustrados na Figura 7.66 e Figura 7.67.

Figura 7.66: *Jackknife* do ganho do modelo 03



Figura 7.67: *Jackknife* do AUC do Modelo 03



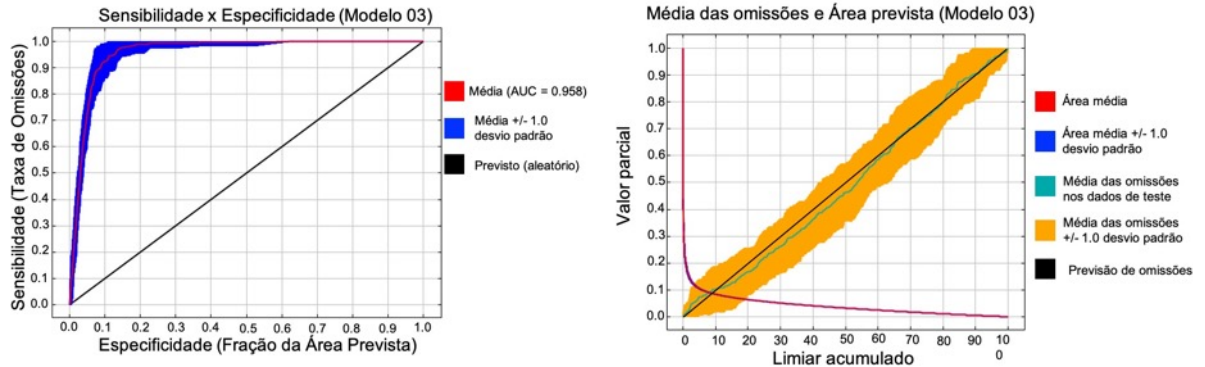
A tendência apresentada pela Figura 7.67 divergiu do percentual de contribuição dos fatores do modelo. Conforme apresentado na Tabela 7.6, o fator com maior contribuição foi a “Mancha Urbana”, seguido por “Ruas” e só então apareceu o fator “Comércio”. O fator “Indústria” que parecia que teria uma importante contribuição, teve apenas 1,5% de contribuição nesse modelo.

Tabela 7.6: Contribuição dos fatores na composição do modelo 03

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	54.1	18.6
Ruas	22	14.5
Comércio	15.5	12.5
Dutovia	2.7	30.5
Rodovia	2.4	6.8
Indústria	1.5	0.7
Mineração	1.2	7.2
Ferrovia	0.7	9.1

A curva ROC comprovou a acurácia do modelo, por se localizar próxima ao canto superior esquerdo do gráfico. O modelo também possuiu baixo número de áreas omissas, sendo considerado um bom parâmetro e seu AUC médio é de 0,958. Esses resultados podem ser observados na Figura 7.68.

Figura 7.68: Curva ROC e omissões do modelo 03



Os fatores “Mancha Urbana”, “Ruas” e “Comércio” foram os mais importantes para esse modelo e apresentaram comportamento semelhante em suas curvas responsivas, apresentados na Figura 7.69, Figura 7.70 e Figura 7.71, respectivamente. Suas curvas responsivas de valor marginal apresentaram valores baixos, porém constantes, o que implica dizer que sua influência se manteve por todo modelo.

Figura 7.69: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 03

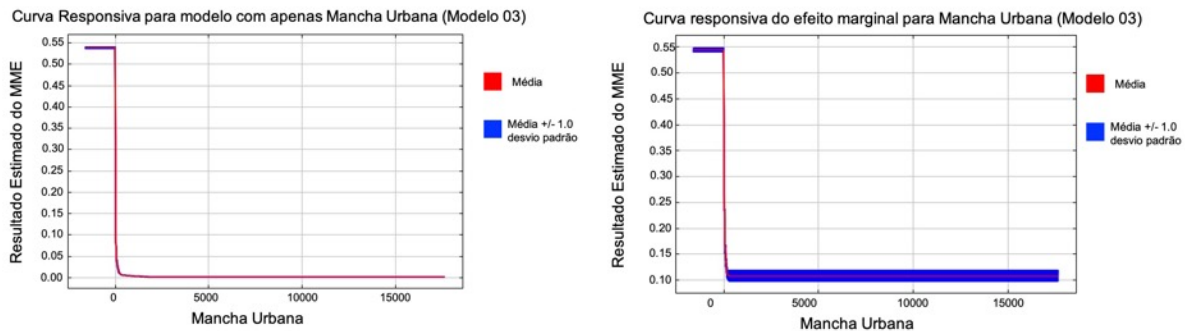


Figura 7.70: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 03

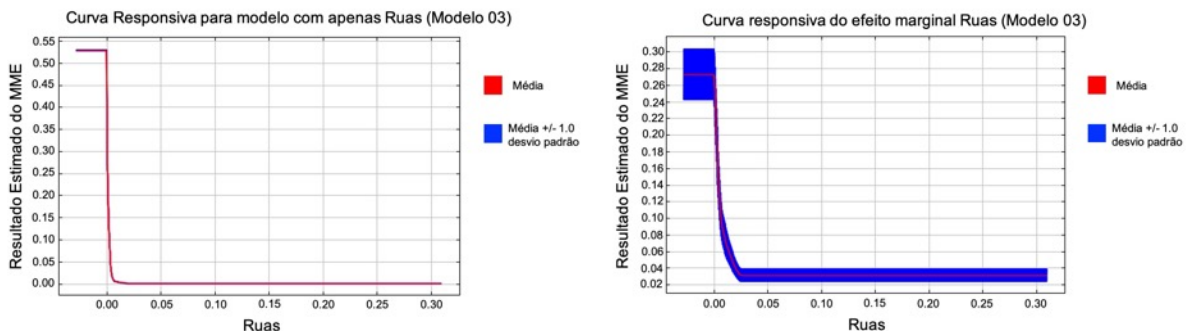
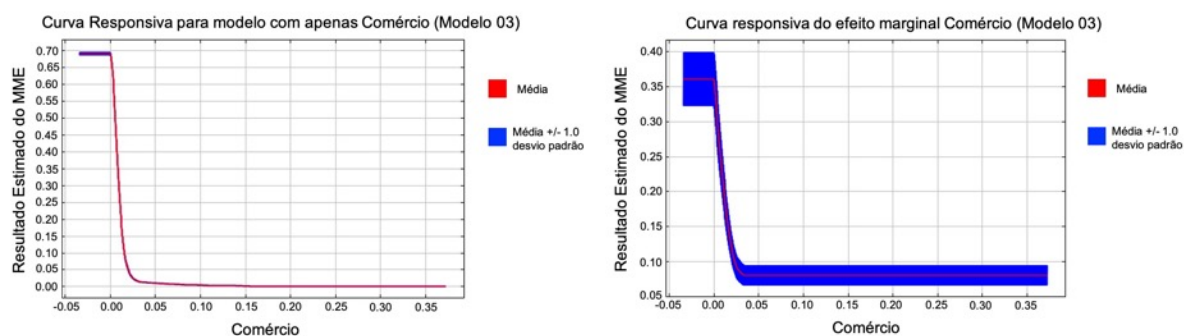
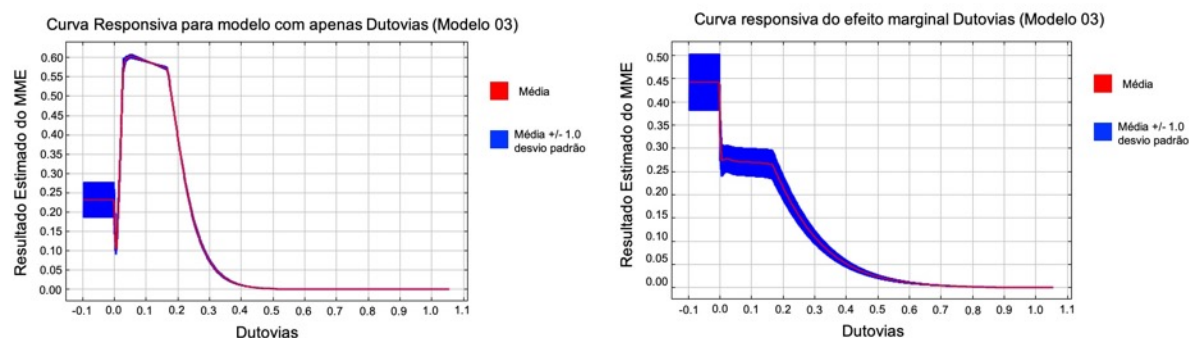


Figura 7.71: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 03



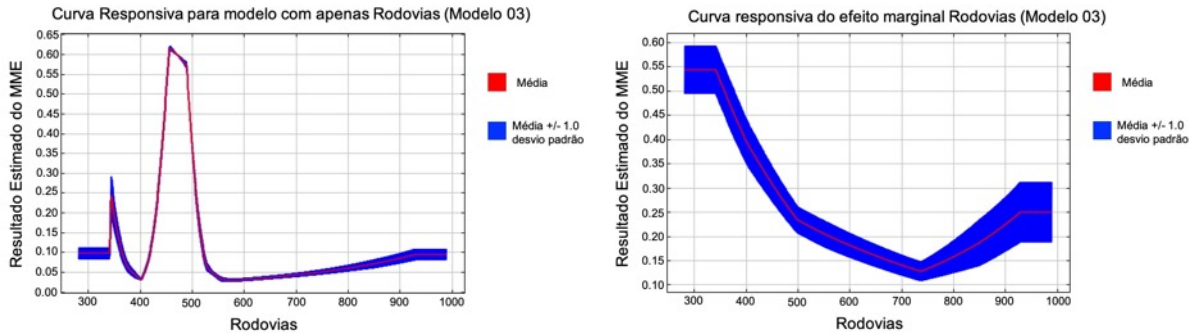
O fator “Dutovias”, cujas curvas responsivas estão presentes na Figura 7.72, apresentou um valor que tendeu a constante antes de iniciar sua diminuição e tender a zero.

Figura 7.72: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 03



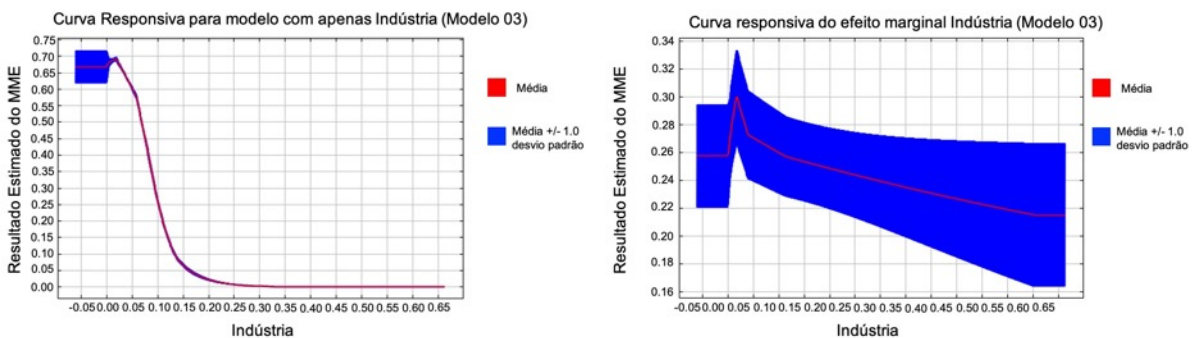
A Figura 7.73 ilustra as curvas responsivas para o fator “Rodovias”. Na curva responsiva para o efeito marginal, o fator iniciou com valor alto, indicando que quanto mais próximo as rodovias, maior a probabilidade de localização de ALs, e esse valor começou a cair. Entretanto, a partir de certo valor, a estimacão começou a crescer novamente, o que indica que, possivelmente, a maneira com que a conexão entre os armazéns mais longínquos e as rodovias são feitas influencia positivamente, fazendo com que o fator também interfira em localizaes mais distantes.

Figura 7.73: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 03



O fator “Indústria”, em sua curva responsiva de valor marginal, apresentou um pico em seu valor da estimação do MME quando o valor do fator foi pequeno e depois o mesmo começou a cair, indicando que o fator reduziu seu impacto no modelo conforme aumentou a distância das zonas industriais. A representação das curvas responsivas está disponível na Figura 7.74.

Figura 7.74: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 03



Por fim, os fatores menos influentes nesse modelo foram “Mineração” (Figura 7.75) e “Ferrovias” (Figura 7.76). As curvas responsivas para o efeito marginal de ambos apresentaram comportamentos semelhantes, indicando que quanto maior o valor do fator, menor o valor da estimação do modelo.

Figura 7.75: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 03

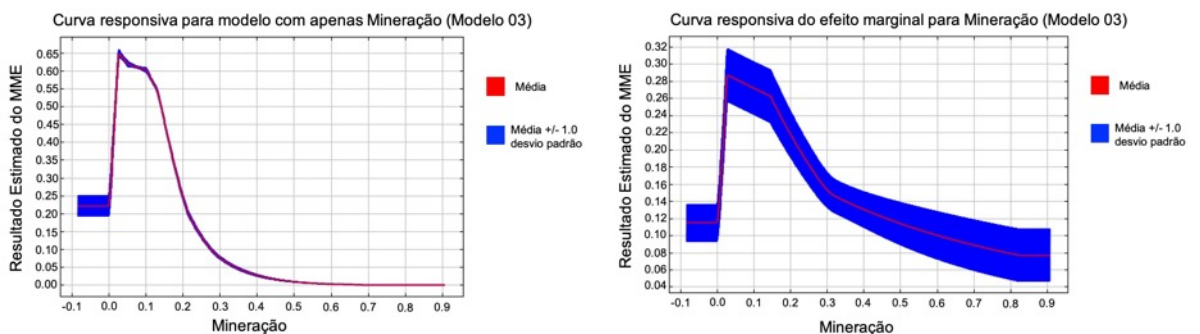
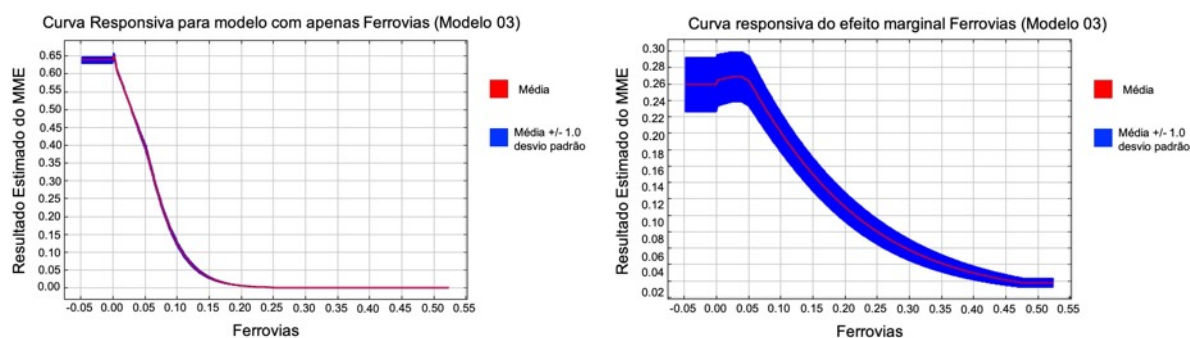


Figura 7.76: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 03



Dos resultados obtidos para o modelo 03, foi possível concluir que:

- A localização no perímetro urbano e a existência de uma rede densa de vias urbanas foram os fatores mais importantes no processo de localização dos ALs; e,
- A atividade comercial também desempenhou papel determinante na probabilidade de localização dos ALs;
- O valor de AUC e a curva ROC validaram o modelo 03.

7.2.4 Modelo 04

O modelo 04 analisou o efeito isolado do sistema de transporte no fenômeno analisado. Não foi detectado colinearidade entre os fatores deste grupo, sendo assim, os valores para colinearidade entre os fatores deste modelo estão na Tabela 7.7.

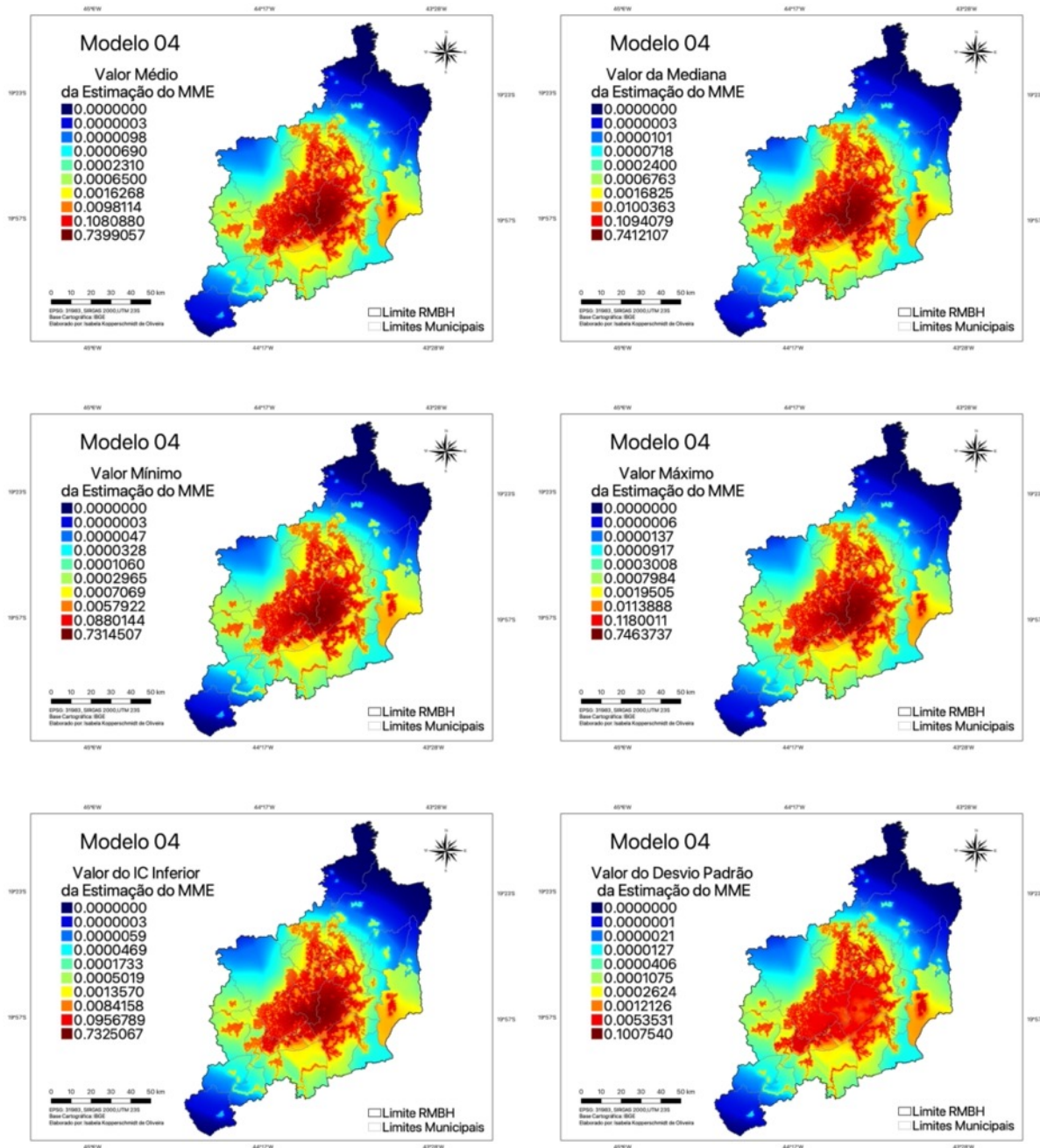
Tabela 7.7: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 04

Modelo 04	
Fator	VIF
Aeródromo	2.13
Dutovia	2.78
Ferrovia	3.99
Rodovia	3.32
Rua	2.24

As representações cartográficas dos resultados das estimações para as 20 repetições estão presentes na Figura 7.77. Nele foi possível perceber claramente a influência do sistema viário urbano. Os tons avermelhados tiveram forma similar ao sistema viário, sendo essas correspondentes as maiores probabilidades de localização de ALs na RMBH. Nesse modelo também se percebeu que os maiores valores para a estimação do MME se concentram em Belo Horizonte e Contagem. À medida que se afastou do núcleo da RM, os tons se tornaram mais

frios, atingindo os menores valores nos extremos norte e sul. Os mesmos padrões de cores foram observados para a média, mediana, máximo e mínimo dos valores das repetições foi observado no IC inferior, validando a precisão do modelo, que foi corroborado pelos pequenos valores de desvio padrão.

Figura 7.77: Resultados MME do modelo 04



No modelo 04, o *jackknife* do ganho para o fator “Ferrovias” foi que apresentou menor valor, tanto para amostragem de treinamento quanto para de teste. Da mesma maneira, os fatores “Rodovias” e “Dutovias” também não apresentaram ganho individual superior a 1. O *jackknife*

do AUC segue a mesma tendência e o fator “Ruas” foi o que apresentou maior valor individual, ultrapassando 0,90. Esses resultados podem ser observados na Figura 7.78 e Figura 7.79.

Figura 7.78: *Jackknife* do ganho do modelo 04

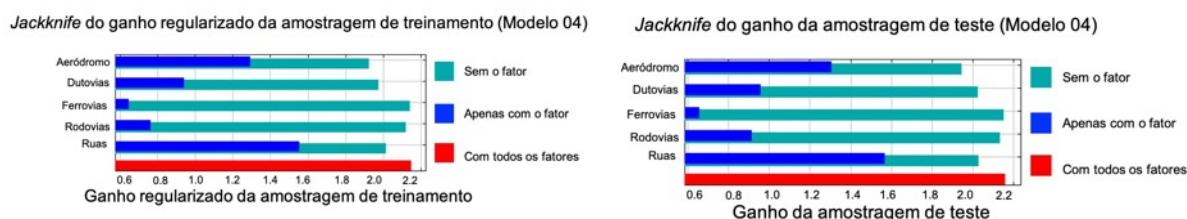
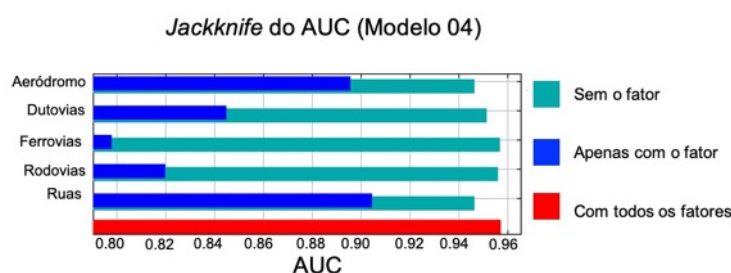


Figura 7.79: *Jackknife* do AUC do modelo 04



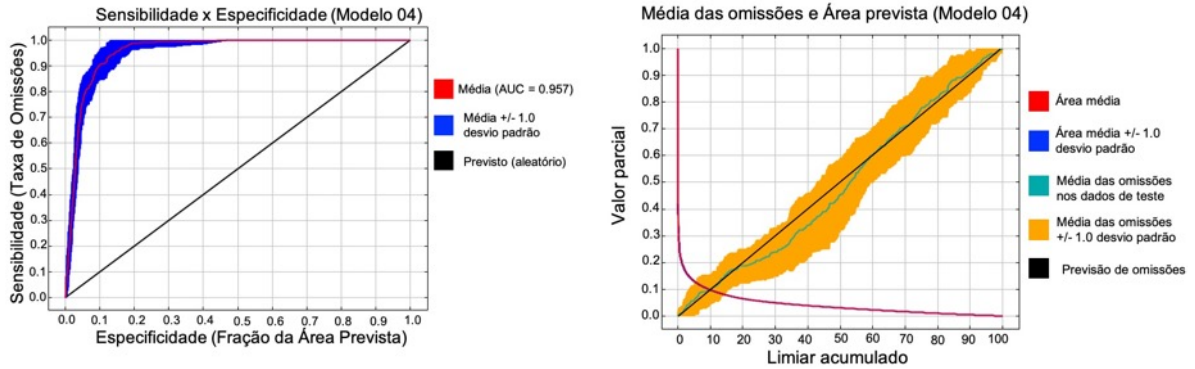
Complementar aos gráficos de *jackknife*, deve-se analisar a contribuição do fator (Tabela 7.8). Os resultados indicam que o fator “Ruas” continuou sendo o mais importante, enquanto as “Ferrovias” foram o menos importante nesse modelo. Para este modelo, a mesma ordem de contribuição observada para o *jackknife* foi também observada no percentual de contribuição.

Tabela 7.8: Contribuição dos fatores na composição do modelo 04

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Ruas	68.4	32.6
Aeródromo	16.4	25
Dutovia	10.9	36.3
Rodovia	2.8	3.9
Ferrovia	1.5	2.1

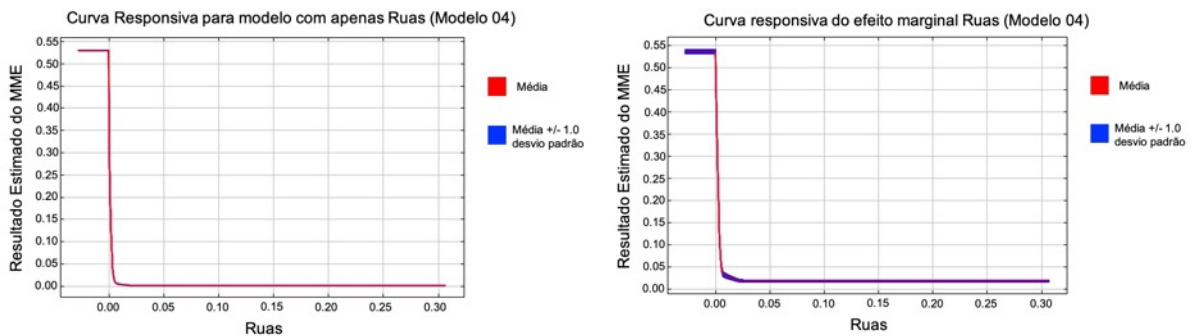
Da análise da Figura 7.80, percebeu-se que o formato da curva ROC se assemelhou ao ideal, no canto superior esquerdo, e o valor do AUC foi de 0,957. A acurácia do modelo foi então validada pela forma da curva ROC e o valor alcançado de AUC foi próximo ao máximo, uma vez que as omissões não foram numerosas, sendo a média próxima a estimada.

Figura 7.80: Curva ROC e omissões do modelo 04



Nesse modelo percebeu-se com clareza a importância das vias urbanas para a localização de ALs. Pela Figura 7.81, observou-se as curvas responsivas para o fator “Ruas seguiu a mesma tendência dos modelos anteriores, de uma linha constante tendendo próxima a zero para seu efeito marginal e igual a zero para a o modelo com o fator em questão.

Figura 7.81: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 04



Para o fator “Aeródromos” as curvas responsivas (Figura 7.82) também apresentaram forma semelhante. Quando o valor do fator foi próximo a zero, a estimativa do modelo atingiu seu maior valor e decresceu rapidamente até tender a zero. Resultado similar foi observado para os fatores “Dutovias” (Figura 7.83) e “Ferrovias” (Figura 7.84), demonstrando que a proximidade com a rede de sistema de transportes foi fundamental para a localização de ALs.

Figura 7.82: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 04

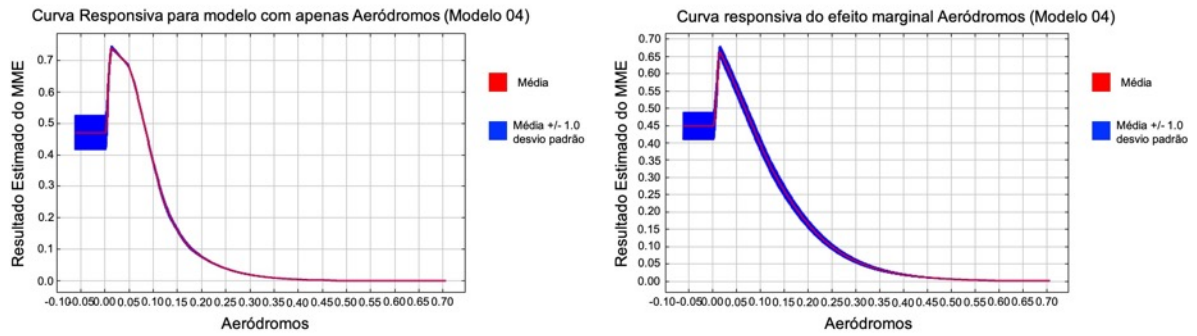


Figura 7.83: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 04

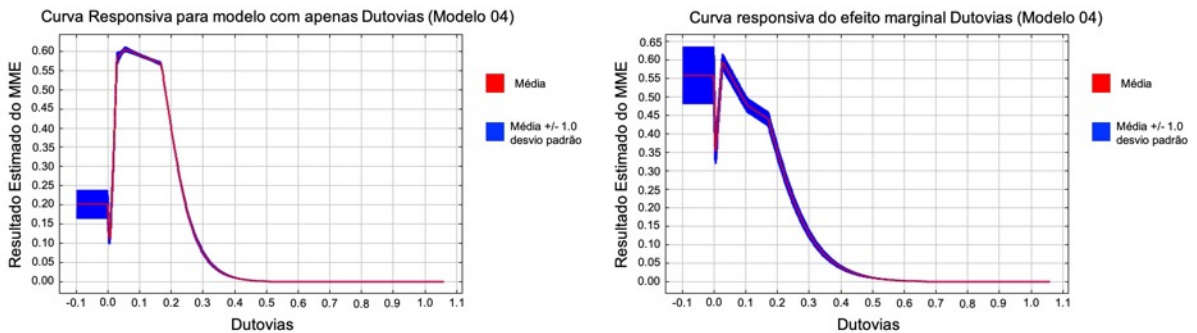
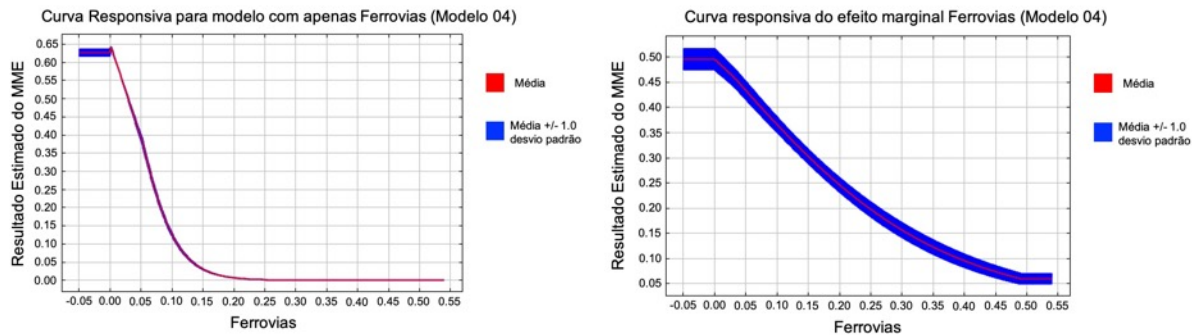


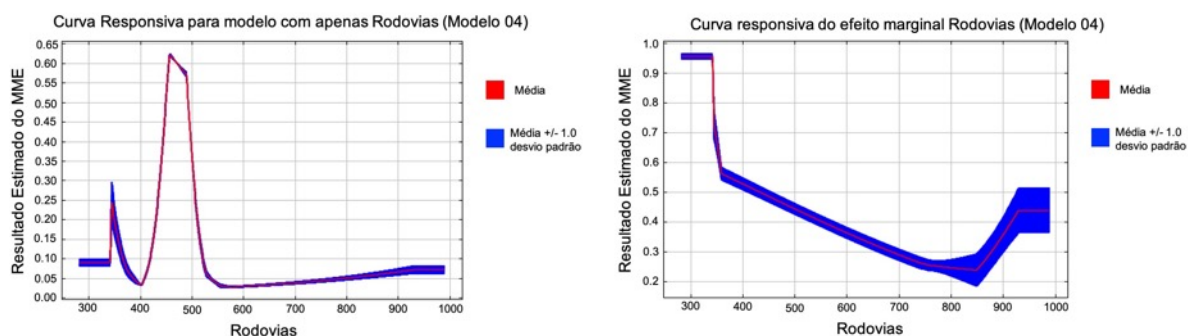
Figura 7.84: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 04



Por fim, o fator “Rodovias”, que foi o penúltimo em grau de importância nesse modelo, diferiu do esperado, considerando a importância que o sistema rodoviário tem na distribuição de mercadorias não só na RMBH, mas no contexto brasileiro. Esse resultado pode ser consequência da grande porção de rodovias se encontrar fora da mancha urbanizada que é um fator determinante para a existência de ALs. As curvas responsivas para esse fator estão ilustradas na Figura 7.85. O fator, em sua curva responsiva para o efeito marginal, também apresentou um comportamento diferente do esperado, pois, o esperado era que quanto mais distante das rodovias, menor a probabilidade de instalação de ALs. Entretanto ao final da curva se observou uma tendência de crescimento da importância desse fator na estimação do modelo,

que pode ser em decorrência da maior importância do fator “Ruas”, enfatizando que a existência de uma rede viária capilar interligada ao sistema rodoviário é fundamental para os ALs.

Figura 7.85: Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 04



Dos resultados do modelo 04 foi possível concluir que:

- O sistema viário urbano foi de extrema importância para a localização dos ALs, sendo que a rede capilar para ligação entre os eixos principais de distribuição (rodovias e ferrovias) foi mais importante que a rede de integração regional; e,
- O modelo pode ser considerado estatisticamente válido pelo formato da curva ROC e seu valor de AUC foi de 0,957.

7.2.5 Modelo 05

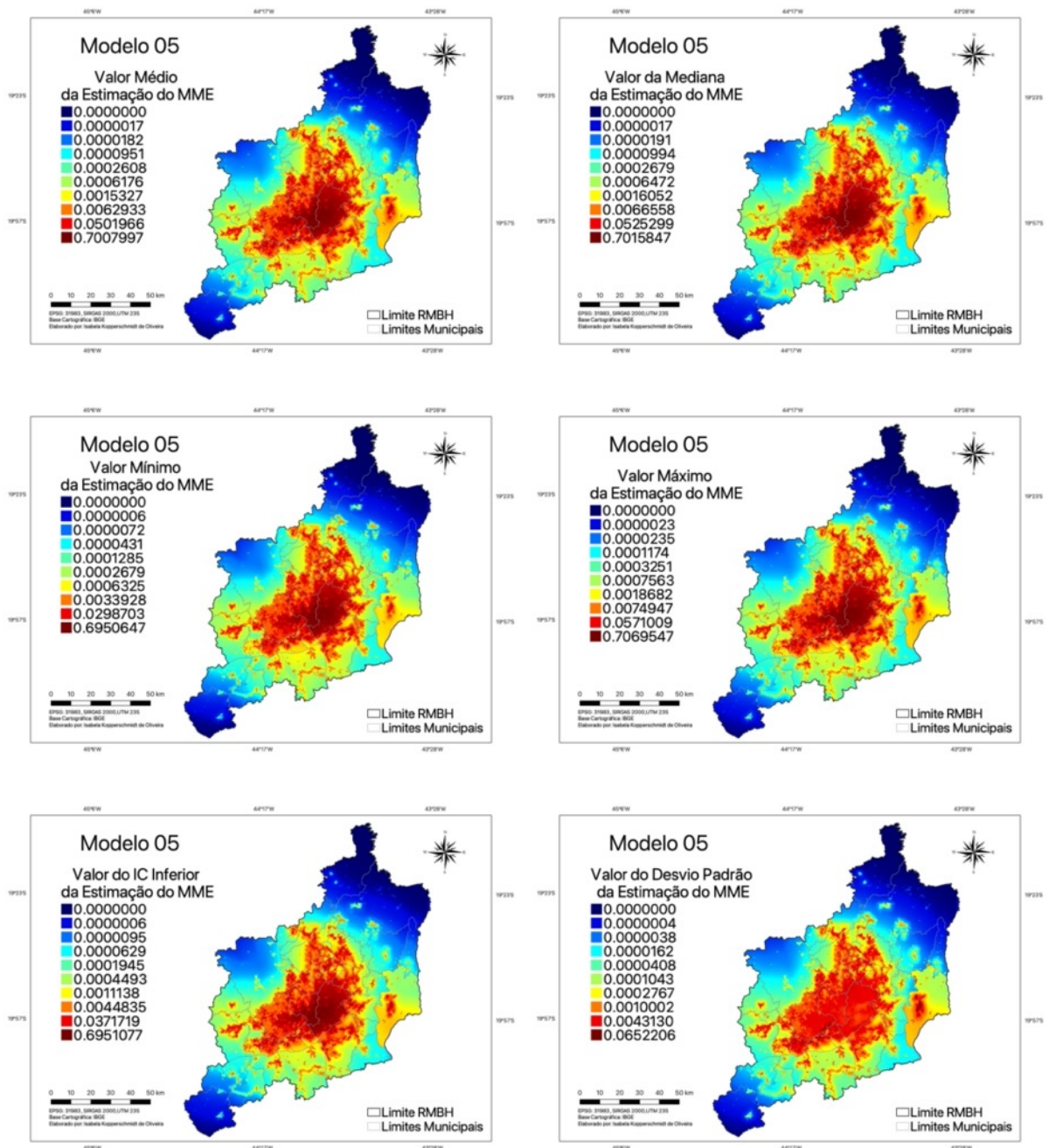
Em função da importância que o fator “Mancha Urbana” apresentou nos modelos 01, 02 e 03, considerou-se necessário avaliar a influência dos sistemas de transportes conjuntamente com tal fator, sendo esses os fatores componentes do modelo 05. A análise da colinearidade está presente na Tabela 7.9, e para esse modelo não foi necessário retirar nenhum fator, pois não há colinearidade entre elas.

Tabela 7.9: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 05

Fator	VIF
Aeródromo	2.16
Dutovia	2.85
Ferrovia	4.37
Rodovia	3.42
Rua	3.20
Mancha Urbana	2.25

As representações cartográficas para as 20 repetições do modelo 05 estão ilustradas na Figura 7.86. A partir dela foi possível perceber que a rede viária ainda possui bastante importância, pois ainda foi possível perceber seu traçado, entretanto ele se tornou menos nítido se comparado ao modelo 04 uma vez que a mancha urbana influenciou na forma do quartil de tom alaranjado. Belo Horizonte, Betim e Contagem continuaram como os municípios com valores da estimação do modelo no último quartil, sendo os municípios com maior probabilidade de instalação dos ALs. Os valores de desvio padrão foram pequenos e o IC inferior seguiu o mesmo padrão de cores das outras representações validando o modelo e atestando a qualidade da estimação.

Figura 7.86: Resultados MME do modelo 05



A partir da análise de *jackknife* observou-se que o fator com menor ganho isolado foi “Ferrovias” e os fatores “Dutovias” e “Rodovias” também tiveram ganho inferior a 1. O *jackknife* AUC seguiu essa a mesma tendência, e o fator “Mancha Urbana” foi o que apresentou maior AUC isolado, ultrapassando o valor de 0,90. Esses resultados podem ser observados na Figura 7.87 e Figura 7.88.

Figura 7.87: *Jackknife* do ganho do modelo 05

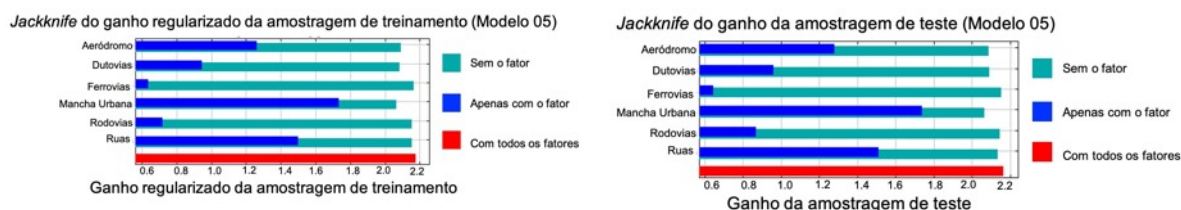
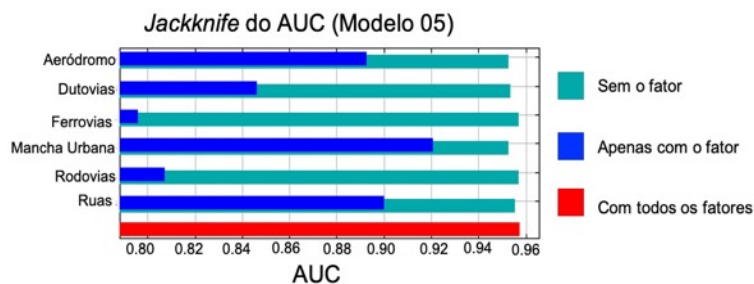


Figura 7.88: *Jackknife* do AUC do modelo 05



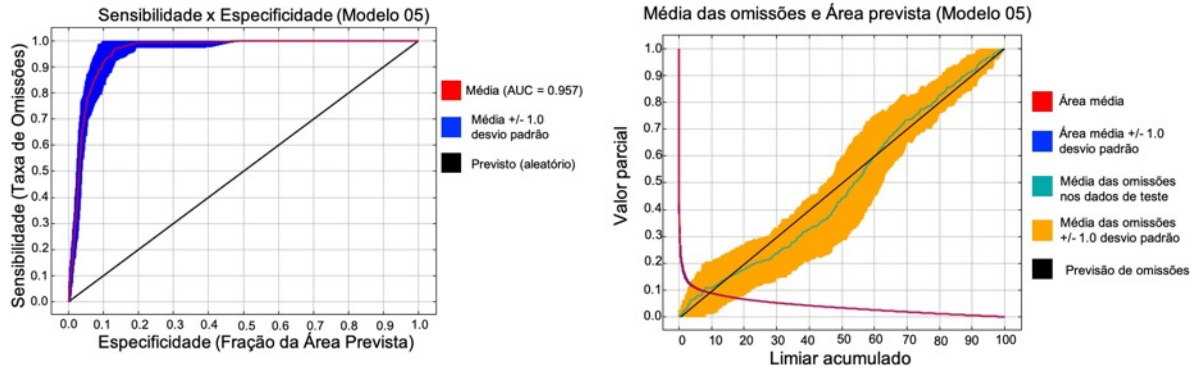
A análise do percentual de contribuição de cada fator, apresentado na Tabela 7.10, corroborou com os resultados do *jackknife*. O fator “Mancha Urbana” contribuiu em 58,7% na estimação do MME, sendo o fator mais relevante nesse modelo, seguido pelo fator “Ruas” com 26,3%.

Tabela 7.10: Contribuição dos fatores na composição do modelo 05

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	58.7	22
Ruas	26.3	13.3
Aeródromo	6.7	19.1
Dutovia	5.4	33.9
Rodovia	1.5	4.6
Ferrovia	1.4	7.1

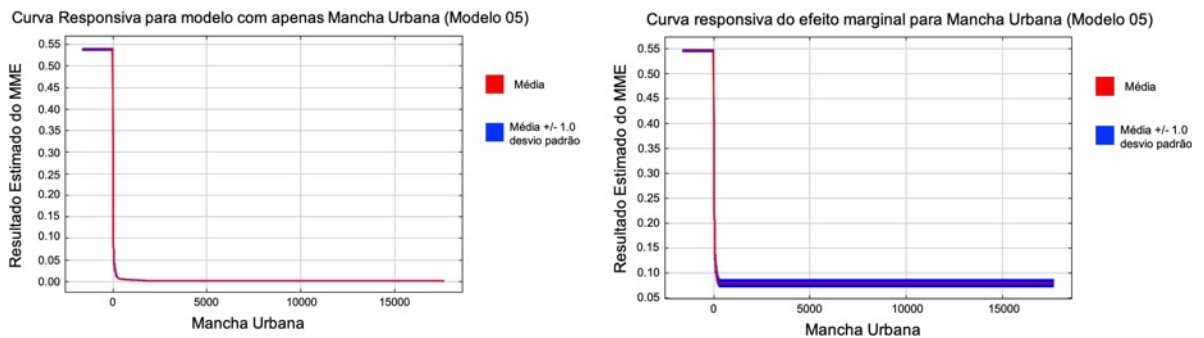
Esse modelo também pôde ser considerado preciso pela conformação da sua curva ROC no canto superior esquerdo, conforme Figura 7.89. As omissões também não foram elevadas e seu valor de AUC foi de 0,957.

Figura 7.89: Curva ROC e omissões do modelo 05



O fator “Mancha Urbana” foi o mais relevante para esse modelo. E pela análise das curvas responsivas (Figura 7.90) foi possível concluir que este foi fator base para localização de ALs, mas sozinho não determina a localização do AL.

Figura 7.90: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 05



As curvas responsivas do modelo 05 estão ilustradas nas Figura 7.91 a Figura 7.95. O fator “Ruas” continuou tendo o comportamento constante e pouco influente no MME. Os fatores “Aeródromos”, “Dutovias” e “Ferrovias” também apresentaram comportamento de diminuir o valor da estimação do MME à medida que o valor do fator aumentou. Por fim, o fator “Rodovias” apresentou o mesmo comportamento não esperado do modelo 04.

Figura 7.91: Curvas responsivas do fator "Ruas" para o modelo 05

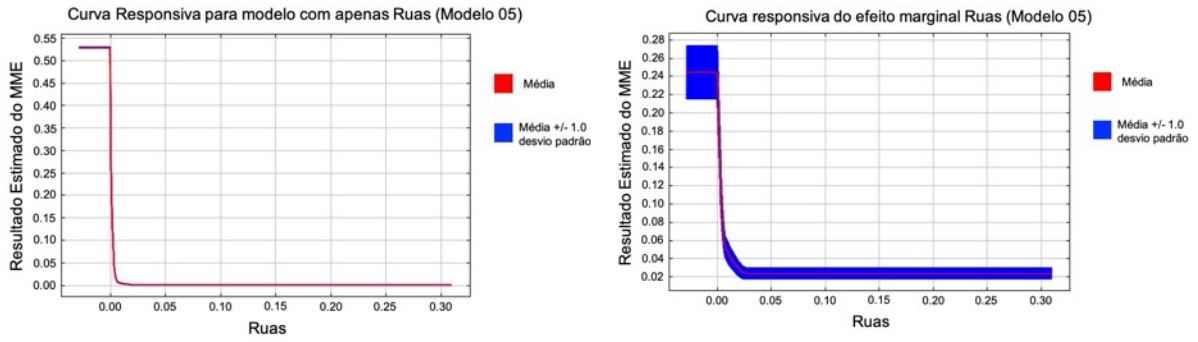


Figura 7.92: Curvas responsivas do fator "Aeródromos" para o modelo 05

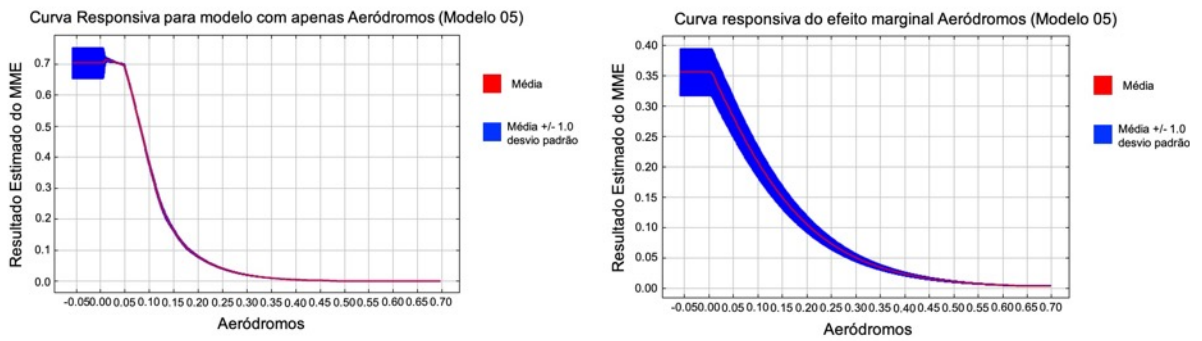


Figura 7.93: Curvas responsivas do fator "Dutovias" para o modelo 05

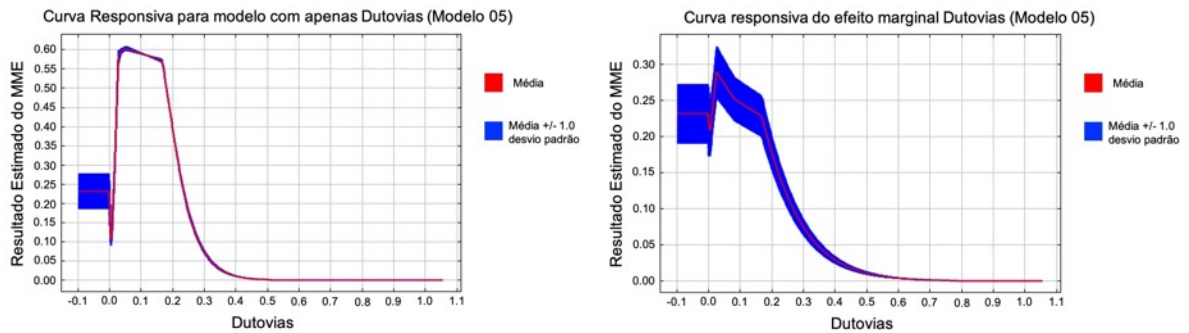


Figura 7.94: : Curvas responsivas do fator "Rodovias" para o modelo 05

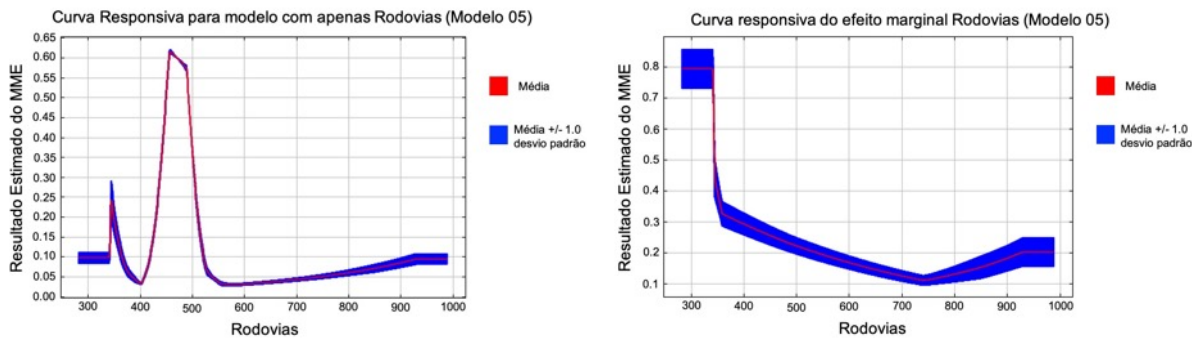
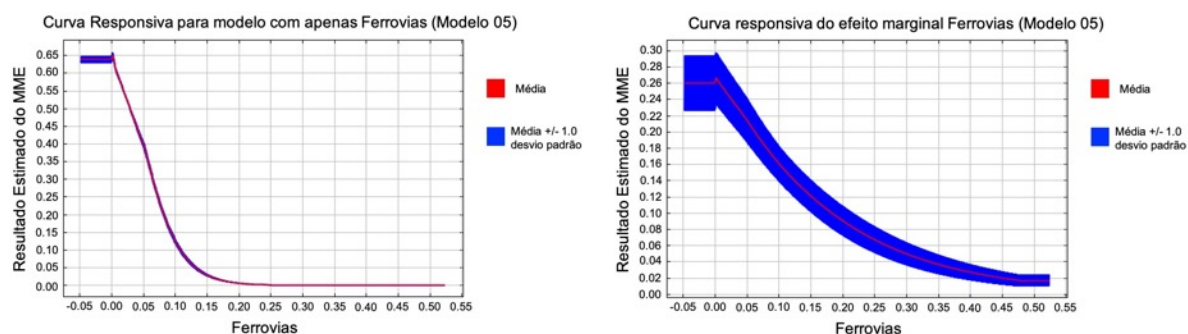


Figura 7.95: Curvas responsivas do fator "Ferrovias" para o modelo 05



Do modelo 05 foi possível concluir que:

- A rede de vias urbanas foi fundamental no processo de localização de ALs;
- A existência da mancha urbana foi mais importante que a rede de transportes, induzindo a pensar que as características que estão incluídas no espaço urbano são o que mais atraem os ALs;
- O modelo foi validado pela curva ROC e seu valor da AUC.

7.2.6 Modelo 06

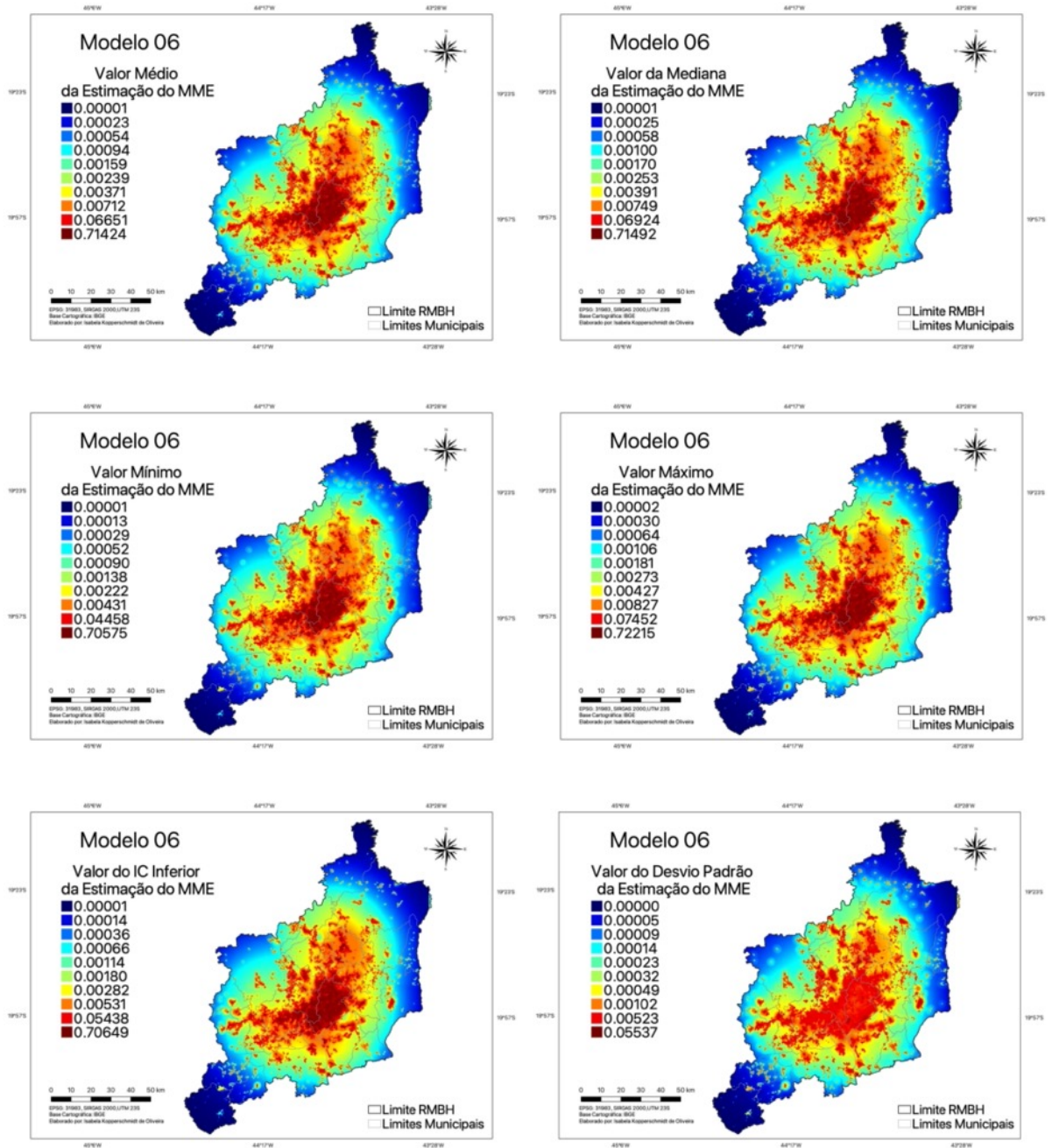
O modelo 06 foi elaborado com o intuito de avaliar o uso do solo, que nesse trabalho representa uma *proxy* dos fornecedores (indústria e mineração) e consumidores (comércios), além da área urbana da RMBH. Conforme apresentado na Tabela 7.11, a análise do VIF não demonstrou colinearidade entre os fatores, não sendo necessário retirar nenhum deles para a modelagem.

Tabela 7.11: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 06

Fator	VIF
Comércio	2.44
Indústria	2.38
Mancha Urbana	1.60
Mineração	1.67

Na Figura 7.96 estão as representações cartográficas do resultado das 20 repetições do modelo. Se percebeu que houve um aumento nas áreas que o último quartil de valores está presente. Entretanto, os municípios que ainda apresentaram maior probabilidade de localização de ALs foram Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ribeirão das Neves e Santa Luzia. Nesse modelo, os valores também se apresentaram dentro do IC inferior comprovando a precisão do modelo, e a pequena variabilidade das repetições foi um ponto positivo que atestou a efetividade do modelo.

Figura 7.96: Resultados MME do modelo 06



A análise do *jackknife* para esse modelo está presente na Figura 7.97 e Figura 7.98. O fator que apresentou menor ganho foi “Mineração”, que apresentou um ganho isolado significativamente inferior ao ganho do modelo. O *jackknife* do AUC comprovou que o fator “Mineração” tem a menor contribuição. O fator “Comércio” foi o que apresentou maior AUC isoladamente, o que pode justificar o aumento dos municípios com área com maior probabilidade de localização de ALs na RMBH.

Figura 7.97: *Jackknife* do ganho do modelo 06

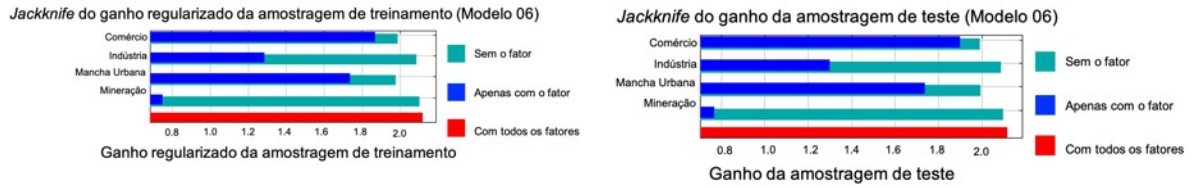
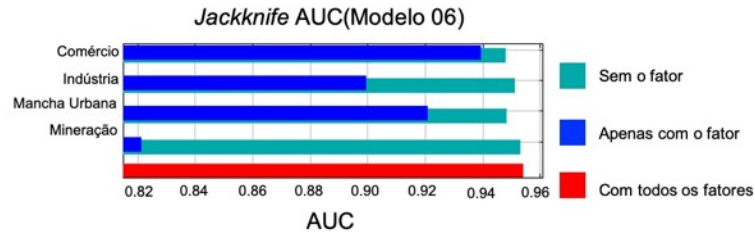


Figura 7.98: *Jackknife* do AUC do modelo 06



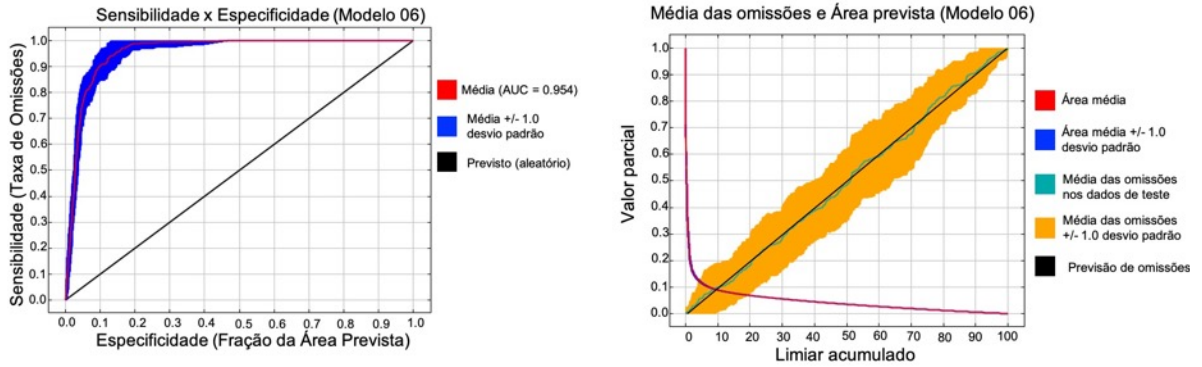
A Tabela 7.12 mostra o percentual de contribuição dos fatores no modelo 06 foi possível observar que a “Mancha Urbana” continuou sendo o fator com maior contribuição. Esse fator não foi o que possuiu maior ganho no *jackknife* isolado ou AUC isolado, mas no conjunto foi o mais relevante para o modelo.

Tabela 7.12: Contribuição dos fatores na contribuição do modelo 06

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	68.9	65.3
Comércio	26.5	15.4
Indústria	2.9	13.8
Mineração	1.6	5.4

Para esse modelo, a curva ROC também apresentou o formato próximo ao ideal, no canto superior esquerdo e o valor médio do AUC foi de 0,954. Com isso pode se dizer que o modelo foi válido e possuiu acurácia. O modelo também pôde ser considerado bom pois houve poucas áreas de omissas. Esses resultados podem ser observados na Figura 7.99.

Figura 7.99: Curva ROC e omissões do modelo 06



O fator “Mancha Urbana” foi o mais importante nesse modelo e apresentou o mesmo comportamento que nos modelos anteriores em relação as suas curvas responsivas, tanto de efeito marginal quanto para a curva que considerou apenas o fator no modelo, conforme a Figura 7.100. A novidade nesse modelo foi o comportamento do fator “Comércio” (Figura 7.101) que foi o mesmo do fator “Mancha Urbana” para a curva responsiva de efeito marginal, ou seja, sua influência no modelo 06 foi como um fator base cuja presença foi fundamental para existência de um AL. Por isso houve um aumento nas áreas cujo último quartil da Figura 7.96 se mostrou presente, pois o fator “Comércio” passou a funcionar como um fator atrativo tão significativo quanto o fator “Mancha Urbana”.

Figura 7.100: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 06

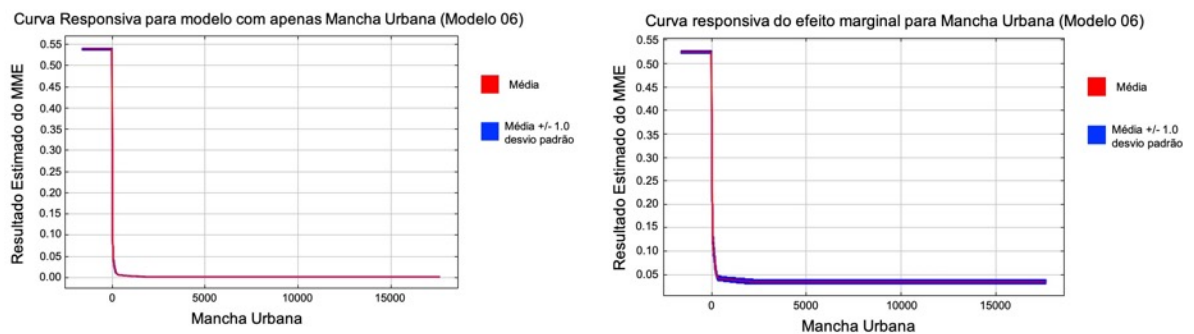
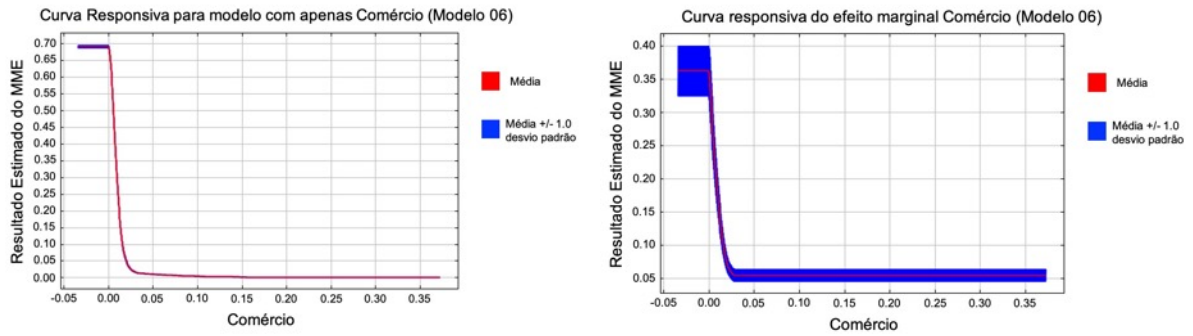


Figura 7.101: Curvas responsivas do fator "Comércio" para o modelo 06



Os fatores “Indústria” e “Mineração”, segundo a curva responsiva de efeito marginal de cada um dele, funcionaram então como os fatores diferenciais determinantes para atração dos ALs, sendo essa a principal razão para a atração dos ALs em Betim, Contagem em Santa Luzia, pois são os três municípios da RMBH com as três principais áreas industriais da região. As curvas responsivas para o fator “Indústria” (Figura 7.102) seguiram o mesmo comportamento dos modelos anteriores, em que quanto menor o valor do fator, menor o valor da estimação do MME. A curva responsiva de efeito marginal do fator “Mineração” (Figura 7.103) foi ligeiramente distinta, pois o valor mais alto para a estimação não ocorreu para o valor mais baixo do fator, mas um pouco depois.

Figura 7.102: Curvas responsivas do fator "Indústria" para o modelo 06

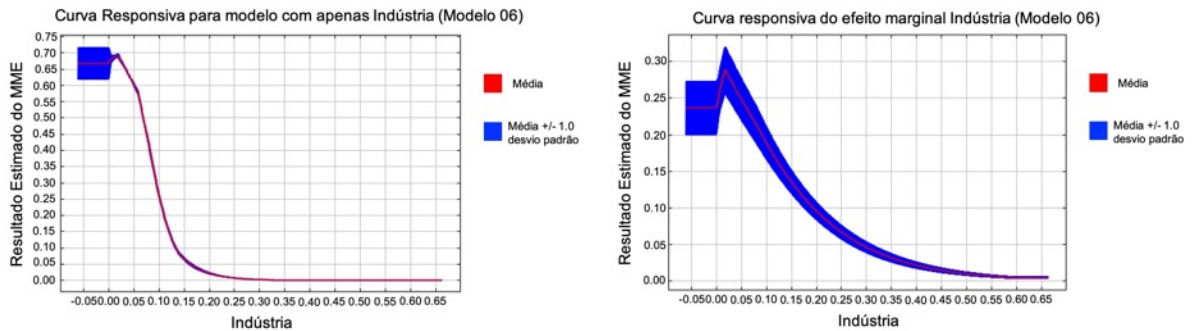
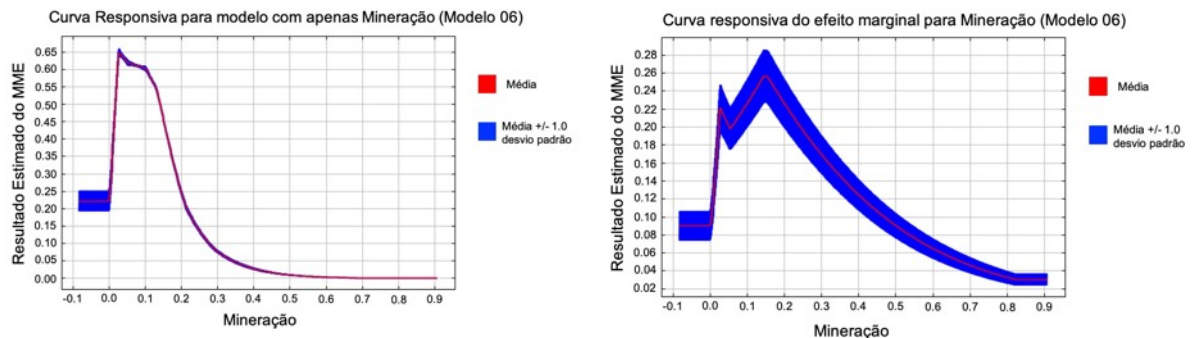


Figura 7.103: Curvas responsivas do fator "Mineração" para o modelo 06



Do modelo 06 foi possível concluir que:

- A existência de uma atividade comercial intensa foi primordial para a atração de ALs;
- Os fatores “Mancha Urbana” e “Comércio” funcionaram praticamente como variáveis categóricas, sendo que sua ausência implica em baixíssima probabilidade estimada pelo modelo. O que diferenciou a probabilidade estimada pelo MME foi a proximidade, principalmente, com as zonas industriais, que aqui se tornam fatores diferenciais no que tange a probabilidade de localização de ALs; e,
- O valor de AUC e formato da curva ROC atestaram a validade e acurácia do modelo.

7.2.7 Modelo 07

O modelo 07 foi composto pelo grupo de fatores composto pelas “características socioeconômicas” e de “infraestrutura urbana”. Esses fatores são compostos por índices agrupados nas unidades espacial dos municípios, o que são consideradas unidades espaciais muito grandes para essa modelagem. Apesar disto, optou-se por analisar a influência desses fatores na localização de armazéns a partir dessa técnica e obter a probabilidade de localização dos mesmos baseado apenas nesses fatores. No caso, o resultado desse modelo foi mais abrangente, indicando apenas os municípios que possuem maior probabilidade de localizarem ALs. O resultado do VIF indicou colinearidade com o fator “População” e após retirá-lo do grupo, os valores finais do VIF podem ser observados na Tabela 7.13.

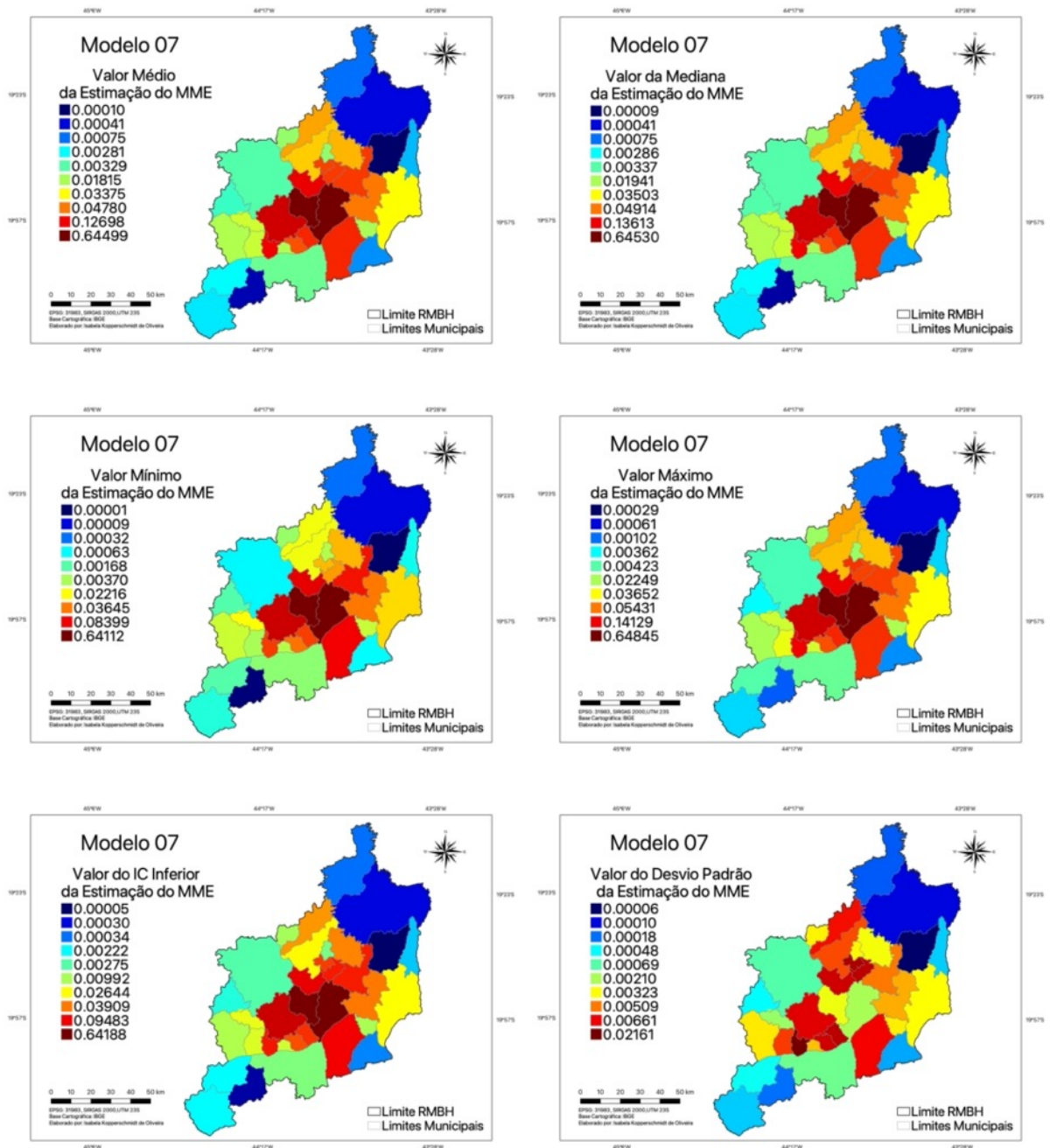
Tabela 7.13: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 07

Fatores	VIF
Taxa de Atividade	1.97
Densidade Populacional	2.21
Emprego	5.96
Esgoto	1.97
IDHM	7.24
PIB	4.00
Renda	7.98
Urbanização	2.49

As representações cartográficas das 20 repetições do modelo 07 estão na Figura 7.104. Ela demonstrou que os municípios com maior probabilidade de localização de ALs foram Belo Horizonte, Contagem, Betim e Ribeirão das Neves. Foi possível perceber que o setor norte da RMBH possuiu uma probabilidade de localização de ALs ainda menor que o setor sul, apesar

de ambas as regiões possuírem probabilidades bem baixas de ocorrência da localização de ALs. Os valores das 20 repetições se encontraram dentro do IC inferior e o desvio padrão foi pequeno, atestando a confiabilidade desse modelo.

Figura 7.104: Resultados MME do modelo 07



O *jackknife* do ganho de amostragem de treinamento e de teste demonstraram que o fator que possuiu menor efeito isolado em seu ganho foi a “Renda”, sendo inclusive o único com valor inferior a 1. O *jackknife* do AUC apresentou as mesmas tendências do *jackknife* do ganho, e o fator que isolado possui maior AUC é “Densidade Populacional” seguido pelo “Esgotamento

Sanitário” e “Urbanização”, fatores relacionados às características de infraestrutura urbana. Esses resultados estão representados na Figura 7.105 e Figura 7.106.

Figura 7.105: *Jackknife* do ganho do modelo 07

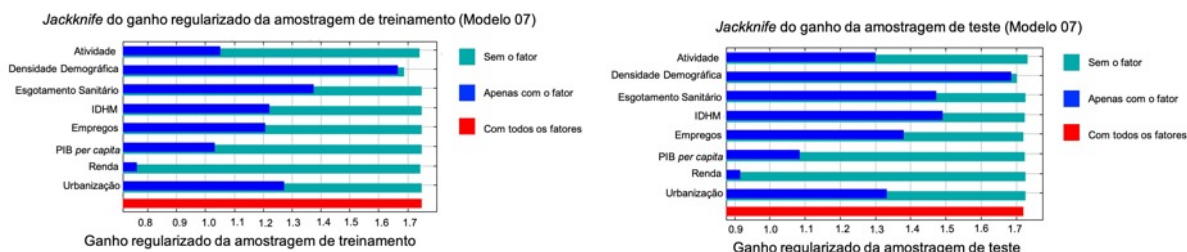
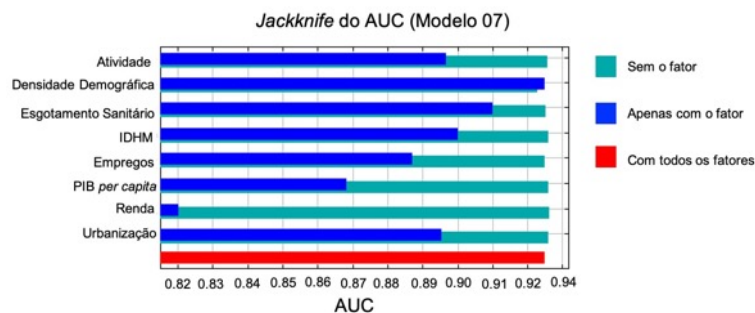


Figura 7.106: *Jackknife* do ganho do AUC do modelo 07



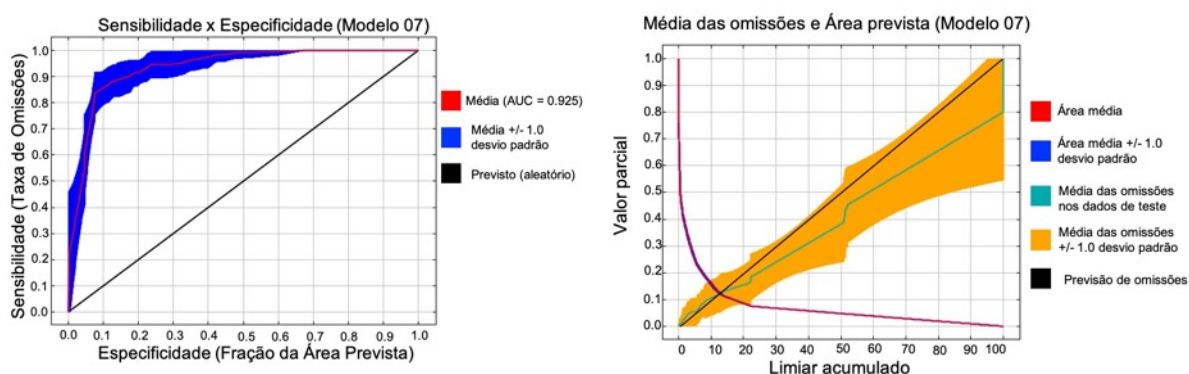
Na Tabela 7.14 estão apresentados os resultados para o percentual de contribuição de cada fator para o modelo 07. Existiu diferença entre os resultados pois como os resultados da contribuição individual do AUC de cada fator foi em geral alta e semelhante, não era esperado que apenas o fator “Densidade Populacional” contribuísse com 84,1% do modelo.

Tabela 7.14: Contribuição dos fatores na composição do modelo 07

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Densidade Populacional	84.1	91.5
Esgoto	6.4	1
Urbanização	2.4	0.1
Emprego	2.4	0.4
PIB <i>per capita</i>	1.7	2.8
Renda	1.2	2
IDHM	1	1.1
Taxa de Atividade	0.7	1.2

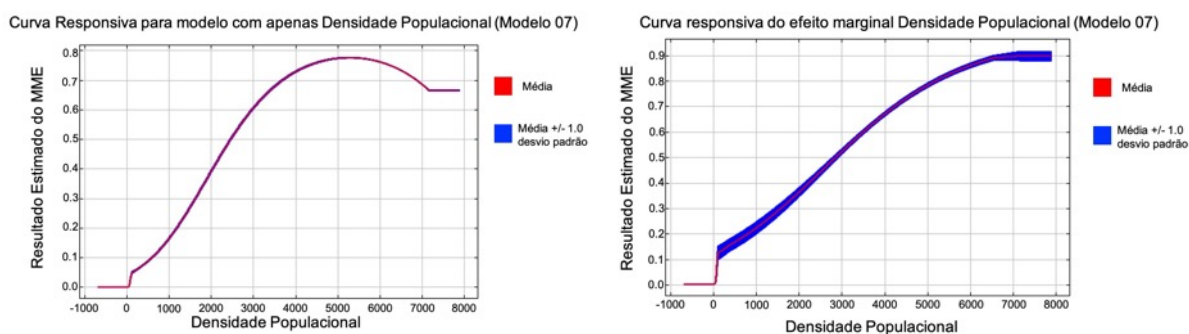
A curva ROC para esse modelo foi a menos próxima a ideal, pois foi o que mais se afastou do eixo das abcissas. Entretanto, o modelo ainda pode ser considerado com acurácia, pois a curva ainda manteve seu formato próximo ao ideal e próximo ao canto superior esquerdo do gráfico. As omissões foram inferiores às previstas, provavelmente pela natureza dos dados desses fatores, que não possuem áreas vazias em seu banco de dados, assim a chance de haver áreas com omissões é menor. O valor de seu AUC médio foi de 0,925, cujos resultados podem ser observados na Figura 7.107.

Figura 7.107: Curva ROC e omissões do modelo 07



O fator que apresentou maior contribuição para o resultado da estimação do modelo 07 foi a “Densidade Populacional”. De sua curva responsiva de efeito marginal (Figura 7.108), foi possível observar uma tendência de aumento do valor da estimação com o aumento do valor do fator, até que se atingiu um limite, a partir do qual o valor da estimação se tornou constante. Isso implica que houve um valor para o qual o adensamento populacional já não representou mais uma vantagem competitiva para a instalação de ALs, e não alterou o valor da probabilidade de ocorrência do mesmo no território.

Figura 7.108: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 07



Os fatores de infraestrutura urbana “Esgotamento Sanitário” e “Urbanização” possuem suas curvas responsivas representadas na Figura 7.109 e na Figura 7.110, respectivamente, e

apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que quanto maior o valor do fator, maior o valor da estimação do modelo. Isso implica em dizer que quanto melhores foram as condições de infraestrutura urbana ofertadas pelo território, maiores foram a probabilidade de localização de ALs nestes mesmos territórios.

Figura 7.109: Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 07

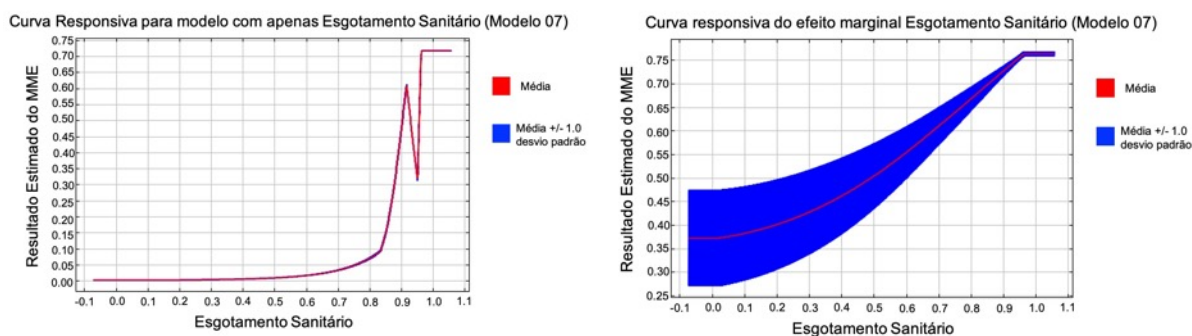
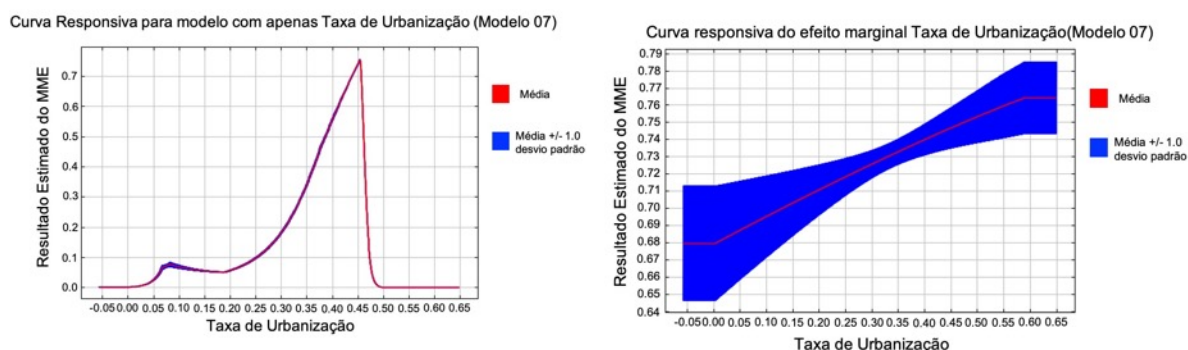


Figura 7.110: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 07



Os fatores “Empregos” e “PIB *per capita*”, cujas curvas responsivas estão presentes na Figura 7.111 e Figura 7.112, também apresentaram comportamentos semelhantes, com um rápido crescimento do valor da estimação e depois se estabilizaram quando atingem seu máximo. Isso implica em dizer que, assim como o fator “Densidade Populacional”, houve um limite para o qual o incremento nesses fatores representou incremento para a probabilidade de ocorrência de ALs.

Figura 7.111: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 07

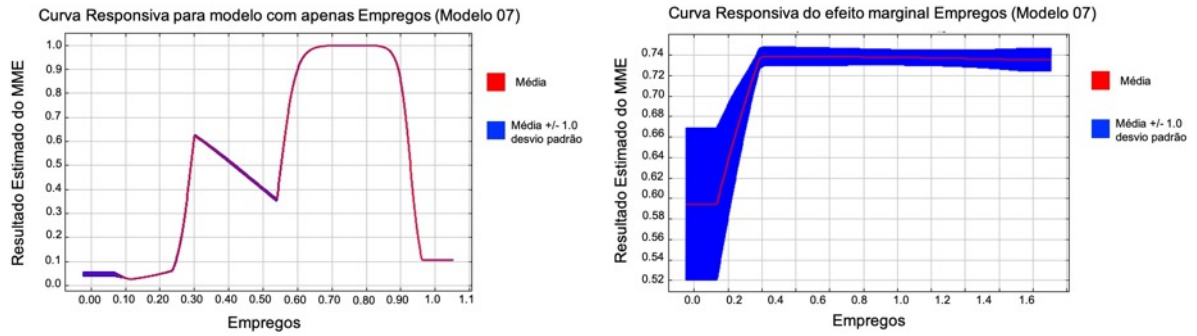
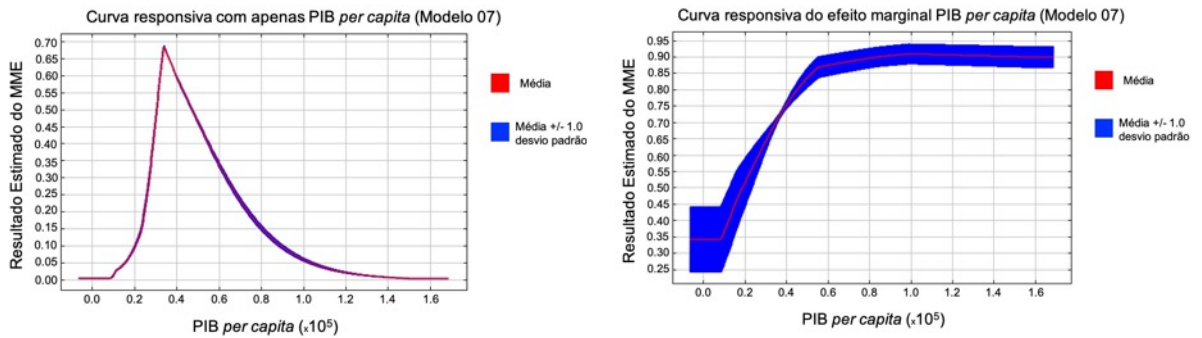


Figura 7.112: Curvas responsivas do fator "PIB per capita" para o modelo 07



O fator “Renda” tem suas curvas responsivas ilustradas na Figura 7.113. Ela demonstrou que a estimação do modelo reduziu com o aumento do fator, visto que um aumento da renda média encarece os custos operacionais e de instalação dos ALs, tornando-se menos provável localizá-los em regiões de renda média alta. O fator “IDHM”, cujas curvas responsivas estão ilustradas na Figura 7.114, também teve esse mesmo comportamento cujo motivo pode ser semelhante.

Figura 7.113: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 07

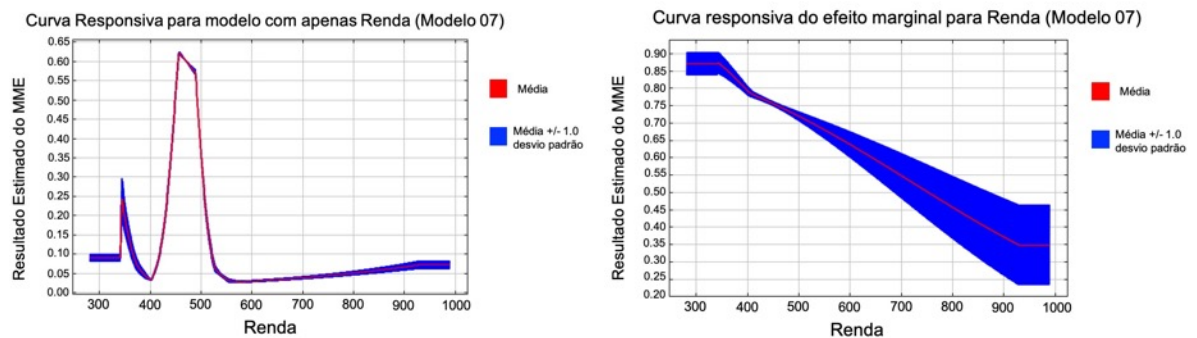
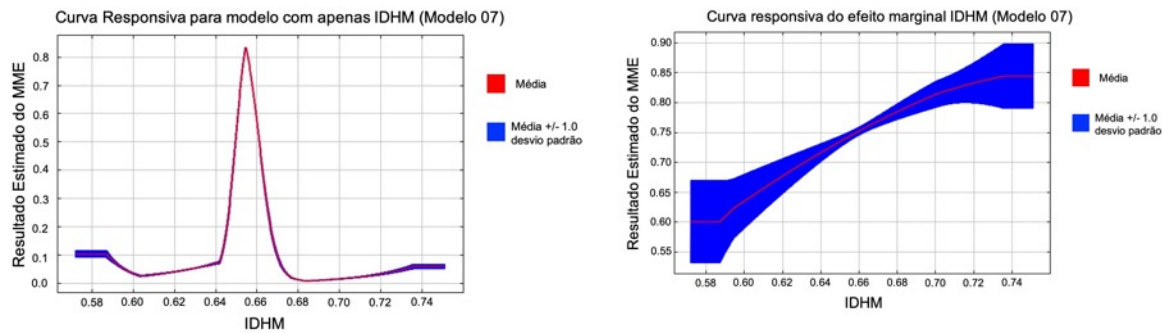
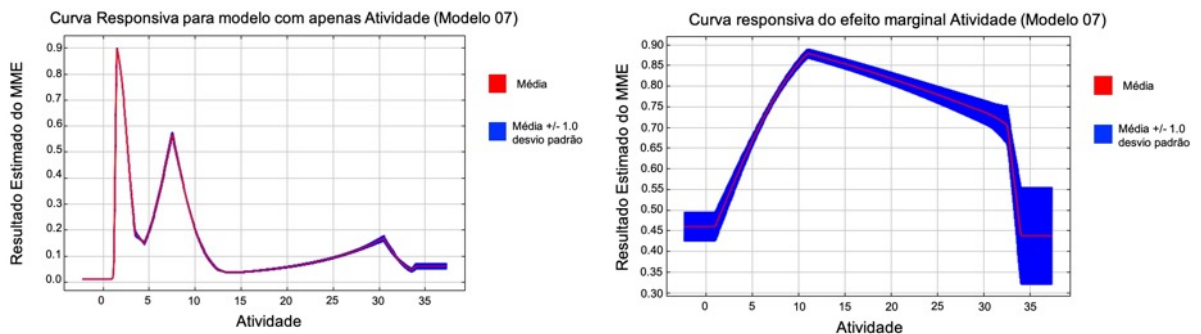


Figura 7.114: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 07



Por fim, o fator com menor influência no modelo 07 foi “Atividade” e suas curvas responsivas estão ilustradas na Figura 7.115. O comportamento deste fator foi similar aos demais modelos estimados, indicando a necessidade de maiores informações setORIZADAS, pois seu comportamento não permitiu estabelecer um padrão comparativo com a vida real pela presença de trechos crescentes e decrescentes em suas curvas responsivas.

Figura 7.115: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 07



Do modelo 07 foi possível concluir que:

- O adensamento populacional foi o fator fundamental dentre os as características socioeconômicas e de infraestrutura urbana, pois um maior adensamento populacional representa não só maior disponibilidade de mão de obra, como também maior mercado consumidor e maior desenvolvimento econômico da região;
- A infraestrutura urbana ofertada pelo território foi de extrema importância na determinação da localização de ALs. Sendo assim, investir em infraestrutura urbana é o primeiro passo para se atrair novos ALs para um local; e,
- Mesmo sendo um modelo com características regionais e não poder ser aplicado a um nível mais local, o modelo 07 pode ser aplicado para o planejamento regional por auxiliar na compreensão do fenômeno e foi considerado válido estatisticamente em função do formato da curva ROC e o valor de AUC.

7.2.8 Modelo 08

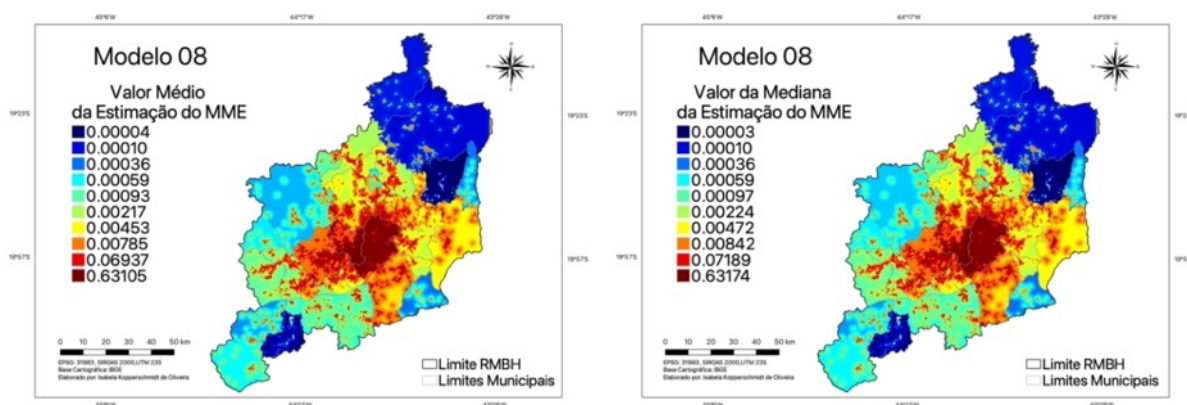
Por fim, o último modelo estimado foi realizado a partir do acréscimo do fator “Mancha Urbana” às características socioeconômicas de infraestrutura urbana. Os resultados da análise da colinearidade desse conjunto de fatores está presente na Tabela 7.15. Nesse caso o fator “População” também apresentou colinearidade, e, portanto, foi retirado para a realização do modelo.

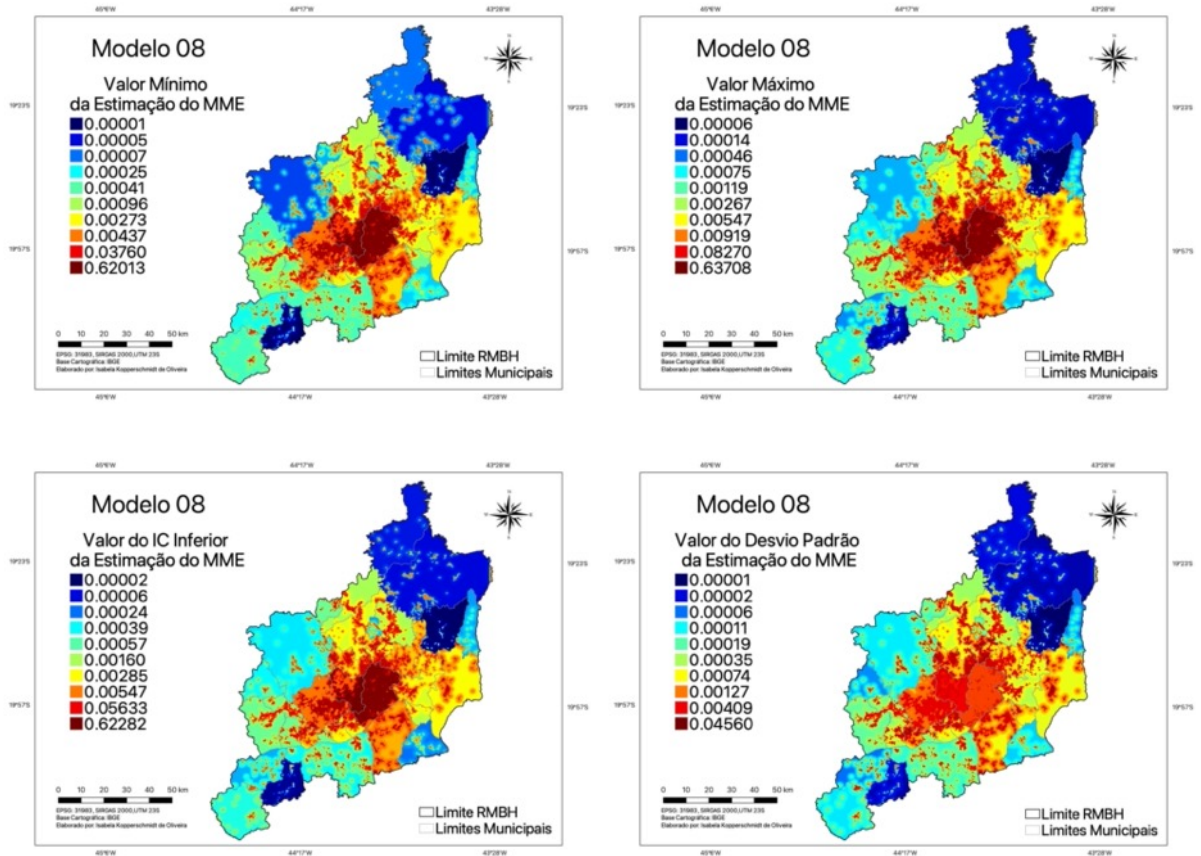
Tabela 7.15: Verificação da colinearidade entre os fatores do modelo 08

Fatores	VIF
Taxa de Atividade	2.05
Densidade Populacional	2.43
Emprego	6.17
Esgoto	2.03
IDHM	7.37
PIB	3.97
Renda	8.28
Urbanização	2.60
Mancha Urbana	1.20

As representações cartográficas da estimação do modelo 08 estão presentes na Figura 7.116. O modelo pôde ser considerado válido pois os valores máximos e mínimos se encontraram dentro do IC inferior e o desvio padrão foi pequeno. Esse modelo foi distinto do anterior pois, todos os locais onde há mancha urbana se apresentaram no último quartil, sendo possível perceber claramente seu traçado.

Figura 7.116: Resultados do modelo 08





Os resultados do *jackknife* foi semelhante à do modelo 07, visto que o fator “Renda” foi aquele que apresentou o pior desempenho de ganho isolado, tanto para treinamento quanto para o teste. Deve ser ressaltado que nesse modelo o fator “Mancha Urbana” foi o que apresenta o melhor desempenho isolado, mas foi o que o modelo apresentou pior desempenho sem ele, o que demonstra que esse fator deve ser incluído no modelo. Esses resultados estão presentes na Figura 7.117 e Figura 7.118.

Figura 7.117: *Jackknife* do ganho do modelo 08

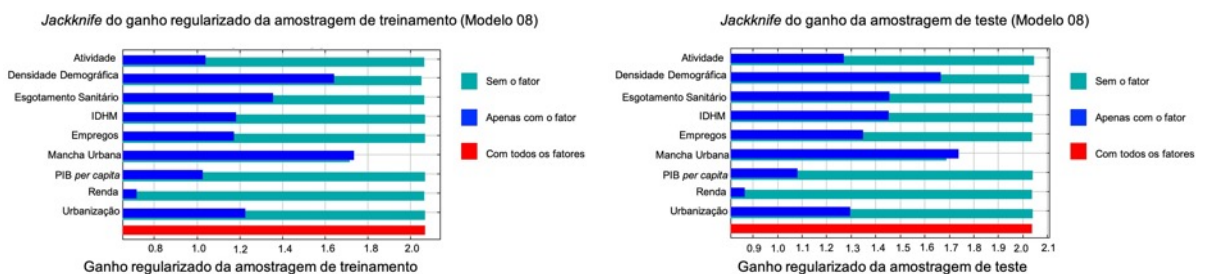
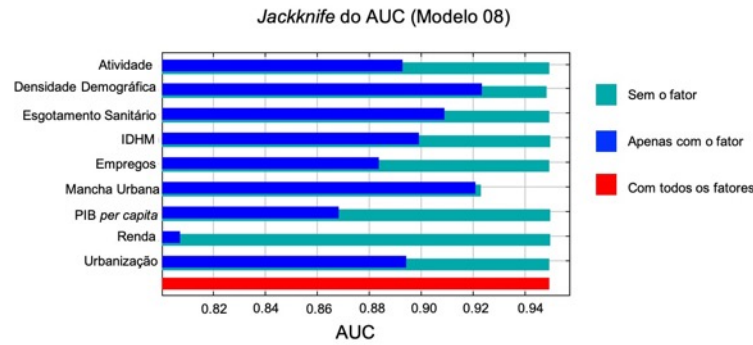


Figura 7.118: *Jackknife* do AUC do modelo 08



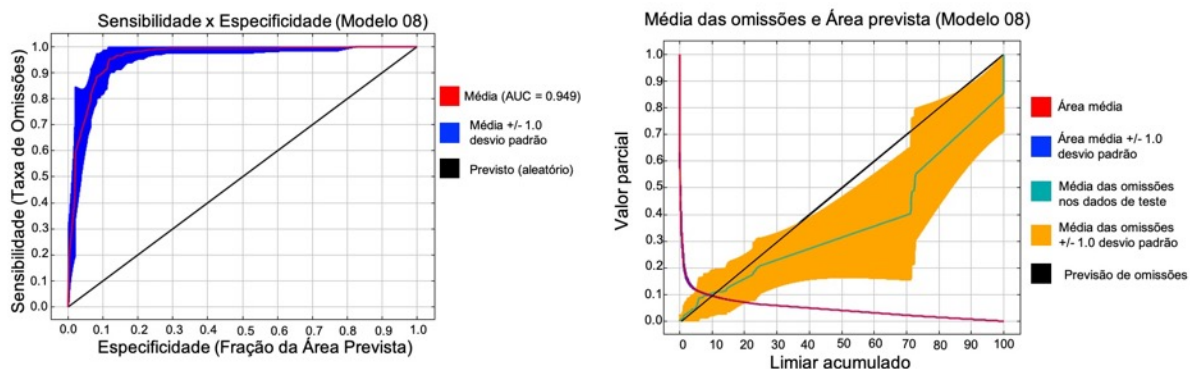
Conforme esperado, o fator que apresentou maior percentual de contribuição foi “Mancha Urbana”. Entretanto, não era esperado que a contribuição do fator “Densidade Populacional” reduzisse tanto, pois ele passou de 84,1% para 15%. Os resultados para o percentual de contribuição de cada fator podem ser observados na Tabela 7.16.

Tabela 7.16: Contribuição dos fatores na composição do modelo 08

Fator	Percentual de Contribuição	Relevância de Permutação
Mancha Urbana	71.5	79
Densidade Populacional	15	10.9
Esgoto	6.2	4.4
Urbanização	3.7	0.2
Emprego	1.2	0.3
IDHM	1	0.6
Renda	0.6	2.9
PIB <i>per capita</i>	0.4	0.2
Taxa de Atividade	0.4	1.6

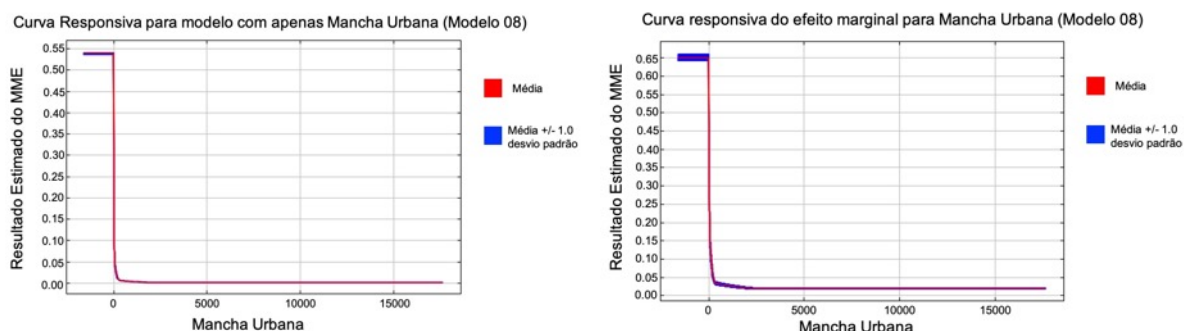
Esse modelo também apresentou sua curva ROC próxima ao ideal, atestando a acurácia desse modelo. As omissões também foram menores que o esperado, pelo mesmo motivo que o modelo 07. Seu valor de AUC médio foi de 0,949 vide Figura 7.119.

Figura 7.119: Curva ROC e omissões do modelo 08



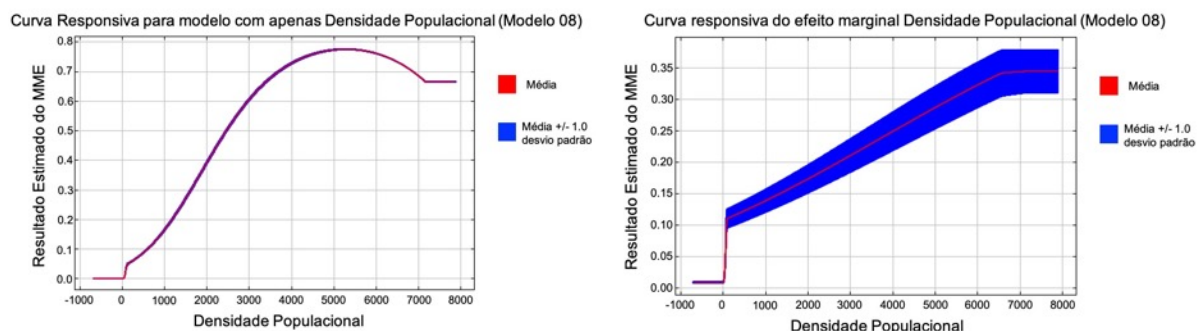
O fator “Mancha Urbana” apresentou o comportamento das curvas responsivas (Figura 7.120) similares aos observados nos modelos anteriormente estimados que contém este fator. Contudo, este valor foi quase nulo e constante, sendo o fator mais relevante do modelo 08.

Figura 7.120: Curvas responsivas do fator "Mancha Urbana" para o modelo 08



O fator “Densidade Populacional” também apresentou sua curva responsiva com o comportamento de aumento gradativo da estimativa do modelo 08. Contudo, depois que atingiu seu pico estabilizou o valor da estimativa. Suas curvas responsivas estão ilustradas na Figura 7.121.

Figura 7.121: Curvas responsivas do fator "Densidade Populacional" para o modelo 08



O comportamento dos fatores de infraestrutura urbana “Esgotamento Sanitário” (Figura 7.122) e “Urbanização” (Figura 7.123) apresentaram comportamentos semelhantes: aumentaram a estimativa do modelo com o aumento do valor do fator.

Figura 7.122: : Curvas responsivas do fator "Esgotamento Sanitário" para o modelo 08

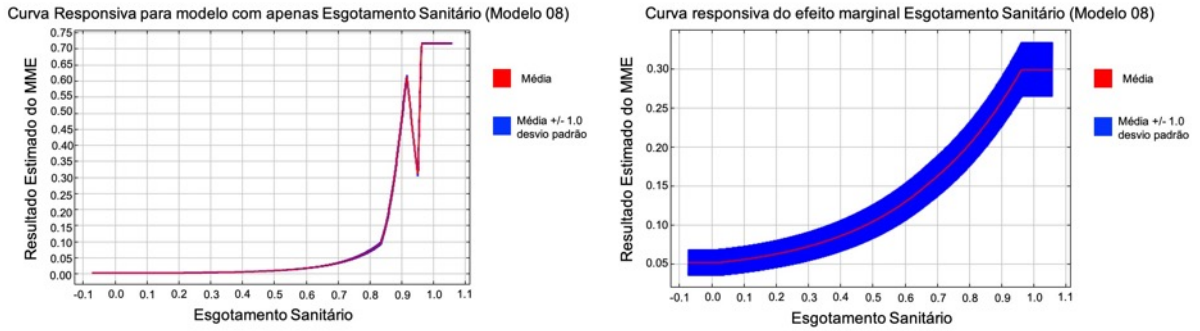
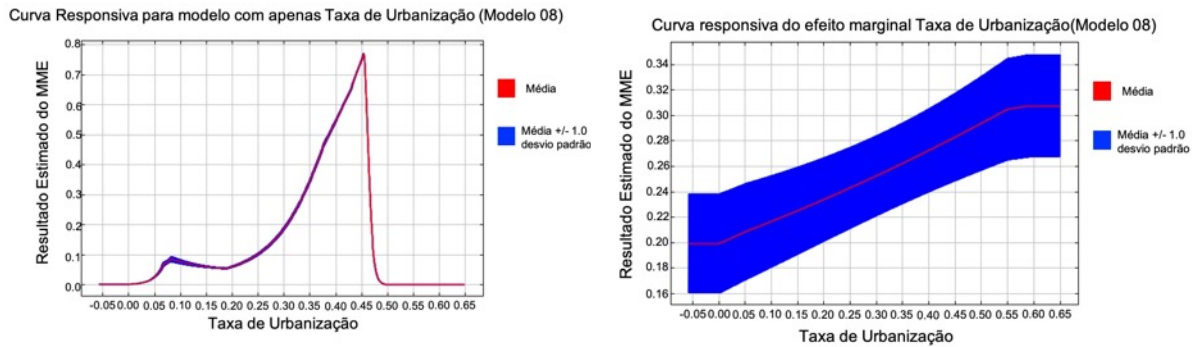
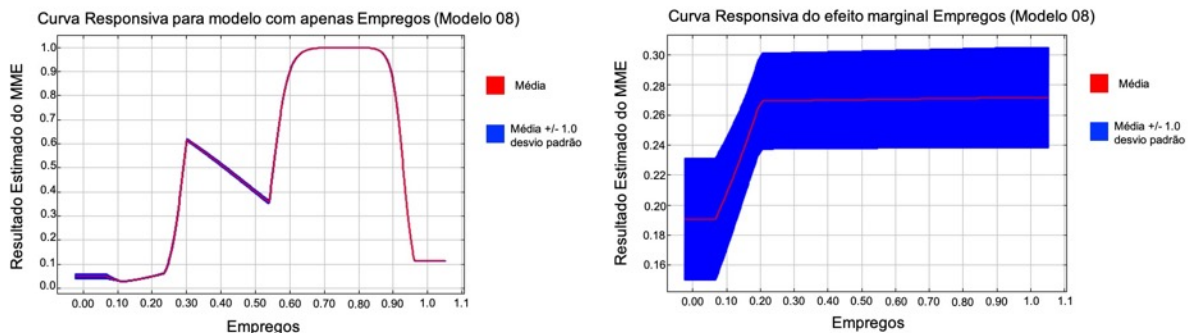


Figura 7.123: Curvas responsivas do fator "Taxa de Urbanização" para o modelo 08



O fator “Empregos” tem suas curvas responsivas ilustradas na Figura 7.124. Sua curva de efeito marginal apresentou um comportamento de aumento súbito para os valores menores do fator e depois ficou constante, indicando que a partir de certo valor desse fator o modelo passou a não se alterar tanto, indicando que o fator passou a não influenciar tanto na probabilidade de localização de ALs.

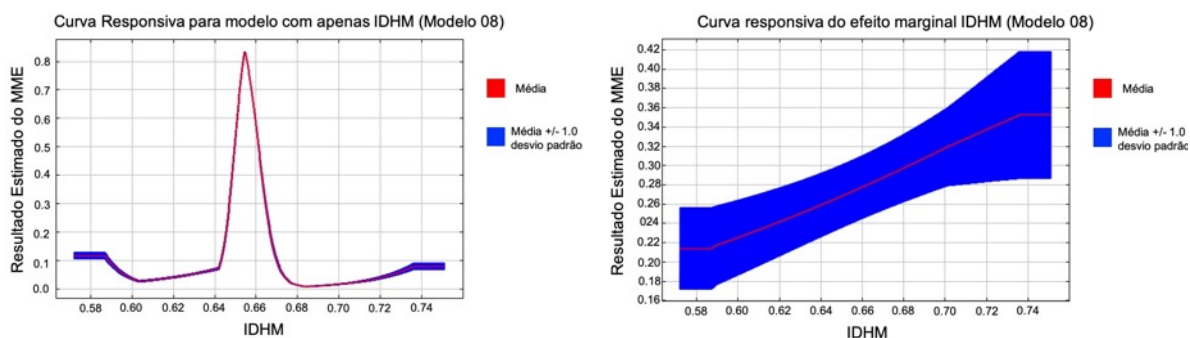
Figura 7.124: Curvas responsivas do fator "Empregos" para o modelo 08



O fator “IDHM” se comportou de maneira distinta do modelo 07. A partir de sua curva responsiva de efeito marginal (Figura 7.125) foi possível reparar que houve um crescimento suave do valor estimado do modelo com o crescimento do valor do fator. Esse fator foi o que apresentou maior alteração na curva responsiva de efeito marginal com o acréscimo do fator

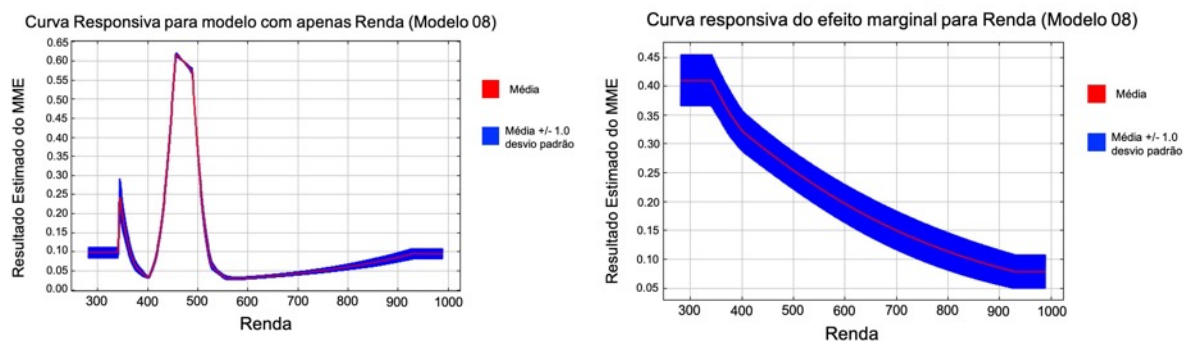
“Mancha Urbana” no modelo de fatores socioeconômicos, a curva passa a ter um comportamento mais linear.

Figura 7.125: Curvas responsivas do fator "IDHM" para o modelo 08



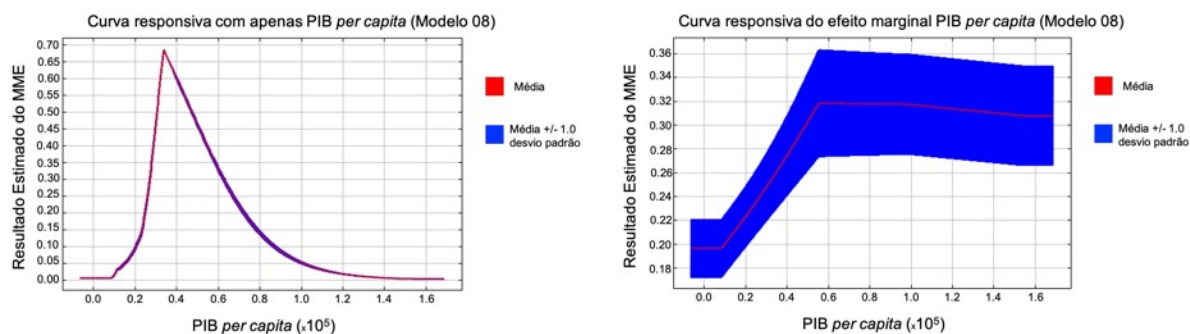
O fator “Renda” apresentou comportamento semelhante ao modelo 07, cuja estimação do modelo reduziu à medida que o valor do fator aumentou. As curvas responsivas para esse fator estão ilustradas na Figura 7.126.

Figura 7.126: Curvas responsivas do fator "Renda" para o modelo 08



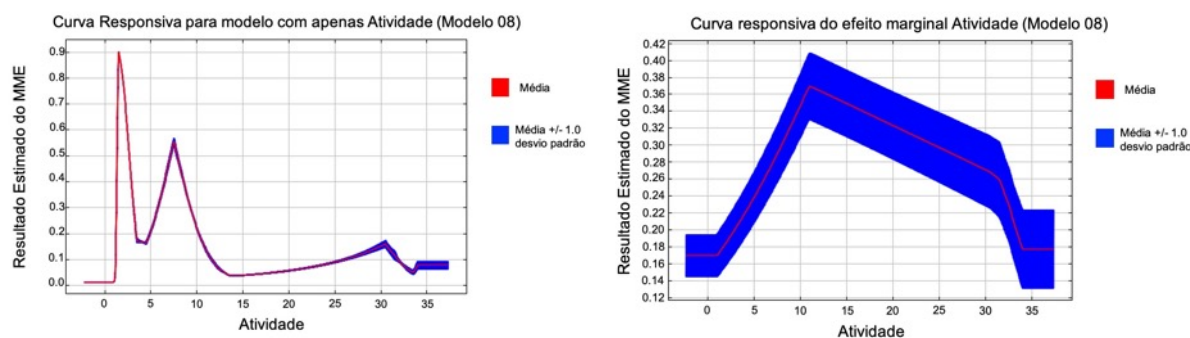
O fator “PIB *per capita*” possuiu um comportamento distinto do fator “Renda”. Apesar de parecerem similares, eles tiveram diferentes impactos no que se refere a instalação de um AL. Enquanto o fator “Renda” implica maiores custos de manutenção e instalação para os ALs, o fator “PIB *per capita*” se relaciona com a atividade econômica desempenhada no território. Por isso houve uma tendência de crescimento do valor estimado do modelo enquanto o fator aumentava, atingindo um pico e depois estabilizando, pois, a partir de certo grau de desenvolvimento econômico um incremento nesse valor já não passou a ser um diferencial para a instalação dos ALs. As curvas responsivas para o fator “PIB *per capita*” estão presentes na Figura 7.127.

Figura 7.127: Curvas responsivas do fator "PIB *per capita*" para o modelo 08



O fator menos relevante no modelo 08 foi “Atividade” e o comportamento de suas curvas responsivas foi o mesmo do modelo 01. Ilustradas na Figura 7.128, este resultado confirma novamente a necessidade de melhor entendimento desse fator na localização dos ALs.

Figura 7.128: Curvas responsivas do fator "Atividade" para o modelo 08



Do modelo 08 foi possível concluir que:

- A área urbana foi o componente principal para a localização dos ALs;
- Os fatores “Renda” e “PIB *per capita*” tiveram implicações bem distintas nas dinâmicas territoriais;
- O modelo 08 foi validado pela sua curva ROC e seu valor de AUC é de 0,949.

7.2.9 Considerações preliminares considerando os resultados estimados dos modelos

Conforme o esperado, as curvas responsivas para os fatores isolados não variam independente da variação entre os fatores do modelo. Isso é uma evidência do quão robusto é esse modelo para avaliar o efeito isolado de um fator sobre o fenômeno estimado. Os valores de AUC encontrados para todos os modelos foram semelhantes, se diferenciando na segunda casa decimal, e foram valores próximos a 1,0. Com isso a seleção do melhor modelo pelo critério do AUC é possível de ser feita, mas a escolha de um modelo em detrimento a outro não exclui necessariamente sua validade, pois todos os modelos apresentaram bons resultados em seus

parâmetros estatísticos (ROC, AUC e omissões). Os fatores influenciam de maneira diferente nos modelos estimados. Entretanto, foi possível observar que quando presente, ao fator “Mancha Urbana” aparecia sempre como o fator com maior percentual de contribuição.

7.3 Comparação dos modelos

A Figura 7.129 apresenta o resultado médio da estimação dos oito modelos, com a identificação dos municípios da RMBH, para facilitar a localização do fenômeno. Independente da combinação de fatores de cada fator, foi apontado que núcleo da RMBH composto pela metrópole, Contagem e Betim são os locais cuja estimação apontou a maior probabilidade de ocorrência do fenômeno estudado. A depender do modelo, também foram identificadas probabilidades mais elevadas de ocorrências de ALs em Ibirité, Ribeirão das Neves, Santa Luzia e Nova Lima. Os outros pequenos polos pulverizados que apareceram no modelo indicaram locais em que há potencial de instalação de ALs, pois são locais em que se encontraram os fatores “Mancha Urbana”, “Comércio” e “Ruas”, sendo que esses pequenos focos se tornaram interessantes locais de implantação de ALs quando se pensa em um contexto de desenvolvimento regional.

Ibirité é um município que surge com a época da entradas e bandeiras, cortado pela MG-040 e a Estrada de Ferro Central do Brasil (EFCB), os principais responsáveis pelo crescimento demográfico do município, que passou de um município agrícola para um município com um forte distrito Industrial (inaugurado em 1996) e um forte setor de serviços (Ibirité, 2020). Devido a isso, Ibirité se tornou atrativo aos ALs por ter diversas características propícias a sua instalação: bom sistema de transporte, proximidade com a metrópole, proximidade com zona industrial e densidade populacional propícia para instalação de ALs.

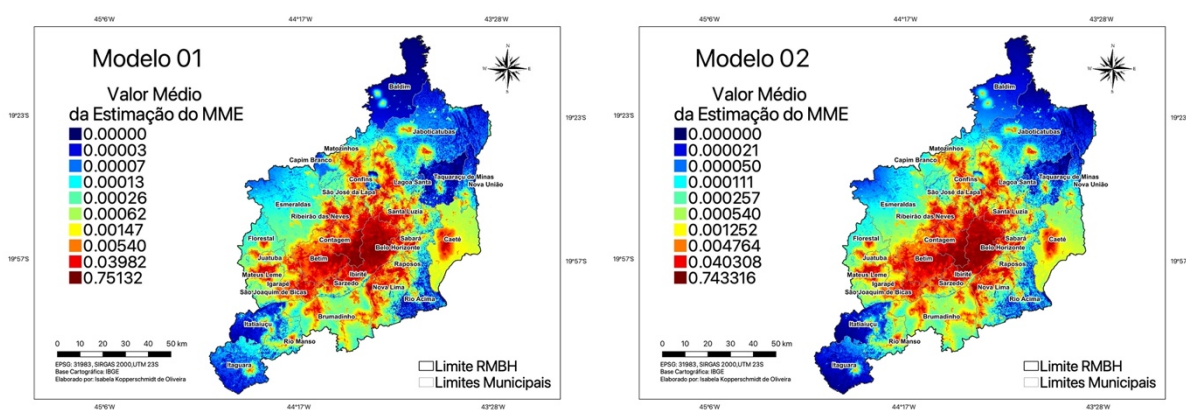
Nova Lima também tem sua história ligada ao dos bandeirantes, entretanto o que chama a atenção são suas riquezas minerárias, com exploração do minério de ferro em larga escala (Nova Lima, 2020). Nos dias atuais, o município tem um elevado IDHM, e seus atrativos para os ALs são principalmente a sua intensa atividade comercial, sua rede de transporte urbano e sua mancha urbana contígua a metrópole Belo Horizonte. Entretanto, as diversas áreas de mineração e exploração minerária fizeram com que apenas uma pequena porção desse município tenha regiões propícias para o recebimento de ALs.

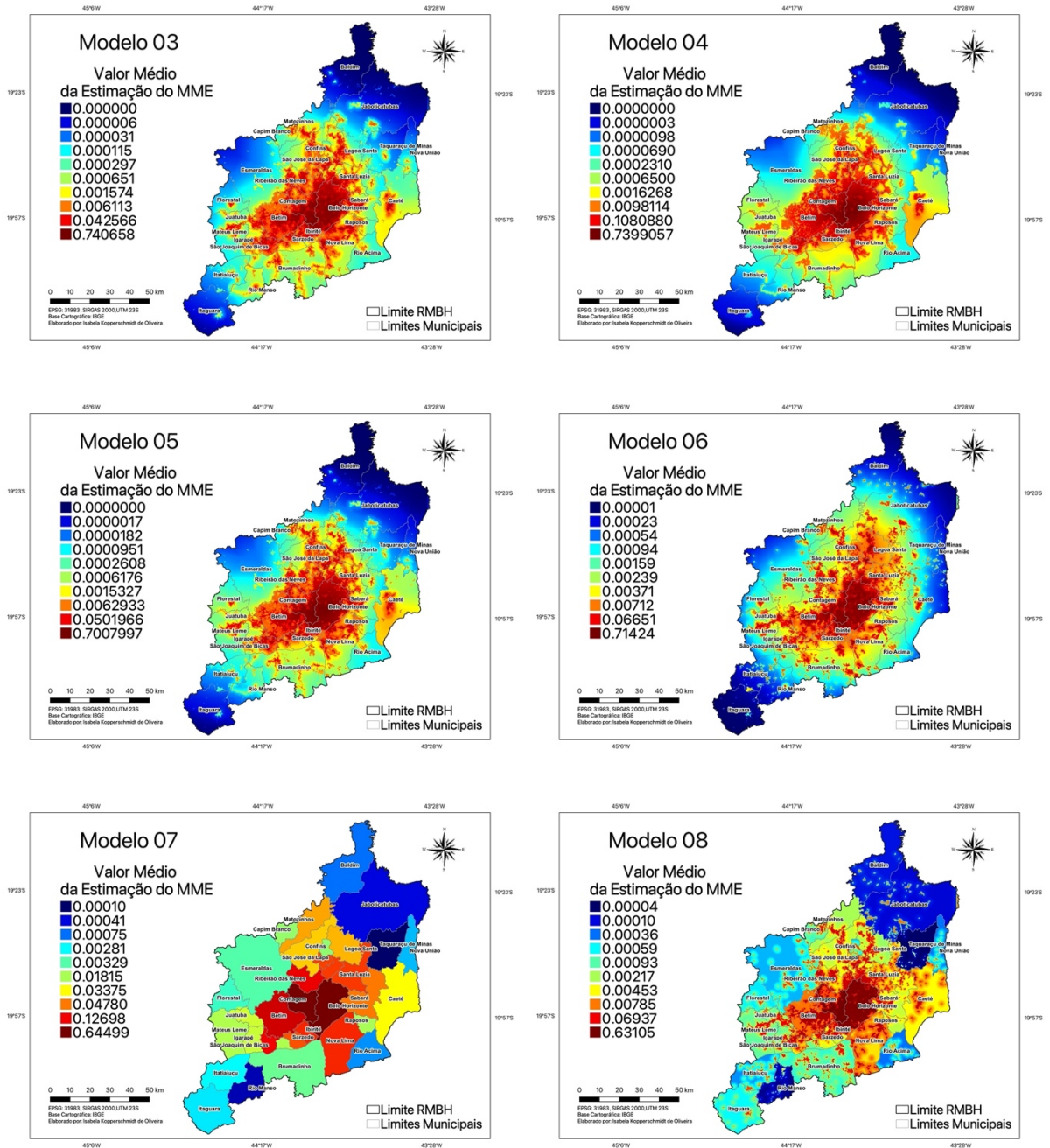
O município de Ribeirão das Neves teve seu desenvolvimento ligado ao da metrópole, por se constituir uma cidade dormitório para a força de trabalho de baixa renda de Belo Horizonte, que contruíam ali suas moradias de maneira desordenada e sem infraestrutura urbana (Campos, 2009). Assim, esse município se torna interconectado com a metrópole e se tornou um polo importante identificado pelo modelo.

Santa Luzia também se constitui uma cidade histórica que remonta o ciclo do ouro, mas seu desenvolvimento mais recente ocorreu devido aos incentivos fiscais (Santa Luzia, 2020) e ao sucesso de sua zona industrial. O modelo identificou não só a conexão que Santa Luzia possui com Belo Horizonte, mas também a importância do seu parque industrial, tornando o município propício a instalação de ALs. Caeté constitui um polo atrativo para os ALs fora do polo central.

Betim e Contagem, conforme já descrito anteriormente, possuem regiões industriais importantes e são municípios altamente integrados com a metrópole, sendo por esse motivo um atrator para os ALs. O modelo foi capaz de identificar todas as características desses dois municípios que os tornam atrativos para os ALs – como a presença de seus polos industriais, concentração populacional e infraestrutura urbana -, assim como as do município de Belo Horizonte. Por isso, os três devem focar maiores atenções do poder público no que toca o planejamento urbano e de transportes, pois são os que mais sofrem com as externalidades do TUC e possuem maior potencial para atrair novos ALs e intensificar ainda mais a atividade logística nesses municípios.

Figura 7.129: Resultados dos Modelos de Máxima Entropia





A Tabela 7.17 retorna a informação sobre a contribuição de cada fator na estimação da máxima entropia de cada modelo. Foi possível perceber que, quando presente, o fator “Mancha Urbana” é predominante, seguido pelos fatores “Ruas” e “Comércio”. Assim foi possível inferir que as características que as áreas urbanas oferecem são importantes para a localização de ALs, tais como a presença de vias urbanas e de atividade comercial. Dentre as características socioeconômicas mais importantes, houve a alternância entre os fatores “Densidade Populacional” e “População”. Com isso é possível inferir que os ALs se instalam próximos aos locais em que há uma certa concentração populacional, seja pela disponibilidade de mão de obra disponível ou pelo potencial mercado consumidor. As características de infraestrutura

urbana também possuem relevância em todos os modelos que consideraram os fatores deste grupo, demonstrando que para um local atrair os ALs, primeiro ele precisa oferecer condições básicas de infraestrutura urbana.

Tabela 7.17: Ordem de contribuição dos fatores comparados dos 8 cenários

Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04	Modelo 05	Modelo 06	Modelo 07	Modelo 08
Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator	Ordem de contribuição do fator
Mancha Urbana	Mancha Urbana	Mancha Urbana	Ruas	Mancha Urbana	Mancha Urbana	Densidade Populacional	Mancha Urbana
Ruas	Ruas	Ruas	Aeródromo	Ruas	Comércio	Esgoto	Densidade Populacional
Comércio	Comércio	Comércio	Dutovia	Aeródromo	Indústria	Urbanização	Esgoto
População	População	Dutovia	Rodovia	Dutovia	Mineração	Emprego	Urbanização
Densidade Populacional	Esgoto	Rodovia	Ferrovia	Rodovia		PIB <i>per capita</i>	Emprego
Urbanização	Urbanização	Indústria		Ferrovia		Renda	IDHM
Esgoto	Renda	Mineração				IDHM	Renda
Renda	IDHM	Ferrovia				Taxa de Atividade	PIB <i>per capita</i>
IDHM	Dutovia						Taxa de Atividade
Dutovia	Declividade						
Indústria	Indústria						
PIB <i>per capita</i>	Rodovia						
Rodovia	Emprego						
Emprego	Ferrovia						
Declividade	Taxa de Atividade						
Aeródromo	Mineração						
Taxa de Atividade	PIB <i>per capita</i>						
Ferrovia							
Mineração							

Pela Tabela 7.18 é possível observar que o AUC médio de todos os modelos foi considerado bom, por serem todos próximos a 1. O modelo que apresentou pior AUC considerou apenas fatores socioeconômicos (Modelo 07) e o modelo com melhor AUC considerou todas as variáveis (modelo 01), mesmo com dois fatores apresentado colinearidade.

Tabela 7.18: Comparação do AUC médio dos 8 modelos

Modelo	AUC Médio
Modelo 01	0.961
Modelo 02	0.960
Modelo 03	0.958
Modelo 04	0.957
Modelo 05	0.967
Modelo 06	0.954

Modelo 07	0.925
Modelo 08	0.949

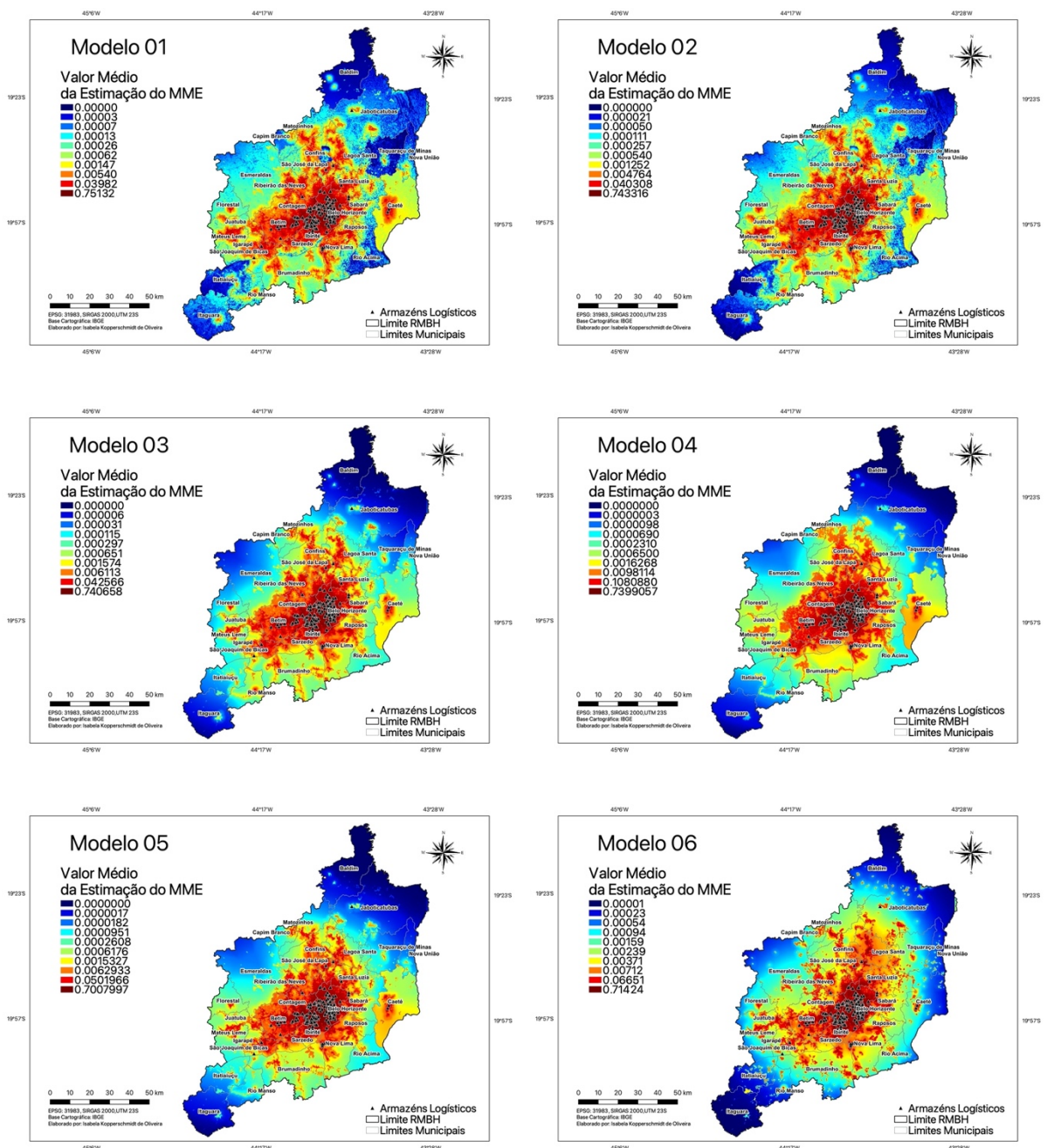
A Tabela 7.19 traz um resumo sobre os modelos comparando-os quanto o fator mais relevante para cada modelo, o fator menos relevante para cada modelo, o valor de AUC, o padrão de cores resultante do MME na RMBH e o maior valor da estimação do MME. Da Tabela 7.19 se percebeu que, quando presente, o fator mais relevante para o modelo foi “Mancha Urbana”, e quando a mesma não estava presente foram os fatores “Ruas” e “Densidade Populacional”. Já o fator menos relevante variou mais alternando entre “Ferrovia”, “Mineração”, “PIB *per capita*” e “Taxa de Atividade”. Os valores de AUC médio variaram entre 0.961 e 0.925, o que valida os oito modelos, e se pode considerá-los com acurácia. Para todos os modelos foi identificado que o núcleo da metrópole foi o local com os tons mais quentes, ou seja, os locais com maior probabilidade de estimação do MME se localizam no núcleo da RMBH, que comporta não somente a metrópole, como também os municípios com maior integração com a mesma e possuem maior dinamismo econômico. Os valores médio da estimação do MME variaram entre 0.751 e 0.631, o que mostra que alterar os fatores que compõe o MME alteraram a probabilidade de localização de futuros ALs, sendo que os modelos com o grupo ST e US são aqueles que possuíram maior probabilidade de localizar novos ALs, sendo que esses dois grupos puderam, então ser considerados fundamentais para esse modelo.

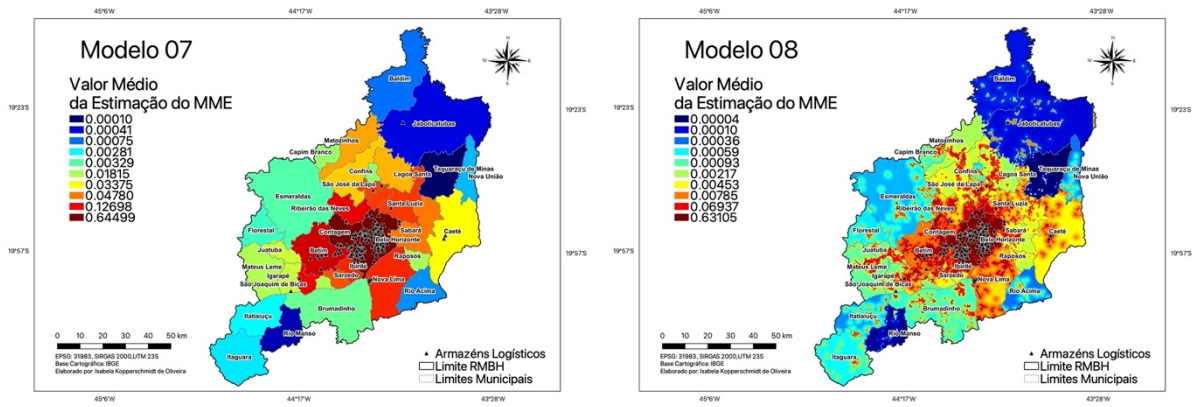
Tabela 7.19: Resumo dos modelos

Modelo	Fator mais relevante	Fator menos relevante	AUC médio	Padrão de cores	Maior valor médio da estimação da MME
Modelo 01	Mancha Urbana	Mineração	0.961	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.751
Modelo 02	Mancha Urbana	PIB <i>per capita</i>	0.960	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.743
Modelo 03	Mancha Urbana	Ferrovia	0.958	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.741
Modelo 04	Ruas	Ferrovia	0.957	Traçado das “Ruas” com tons mais quentes	0.740
Modelo 05	Mancha Urbana	Ferrovia	0.967	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.701
Modelo 06	Mancha Urbana	Mineração	0.954	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.714
Modelo 07	Densidade Populacional	Taxa de Atividade	0.925	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.645
Modelo 08	Mancha Urbana	Taxa de Atividade	0.949	Núcleo da RMBH com tons mais quentes	0.631

Na Figura 7.130 é verificada a hipótese (i) “Os ALs tendem a formar aglomerações”. A hipótese (i) parte do pressuposto que os ALs tendem a se localizar próximos uns dos outros, pois podem compartilhar da infraestrutura já instalada como rede de transporte, saneamento básico e oferta de mão de obra. Comparando a localização dos ALs já instalados na RMBH com os modelos estimados, observa-se que os a maior probabilidade de localização de novos ALs são nas áreas próximas aos ALs já instalados. Portanto, tem-se que a hipótese (i) foi confirmada para todos os modelos estimados, pois o modelo estimou as mesmas áreas com maior probabilidade de instalação de ALs.

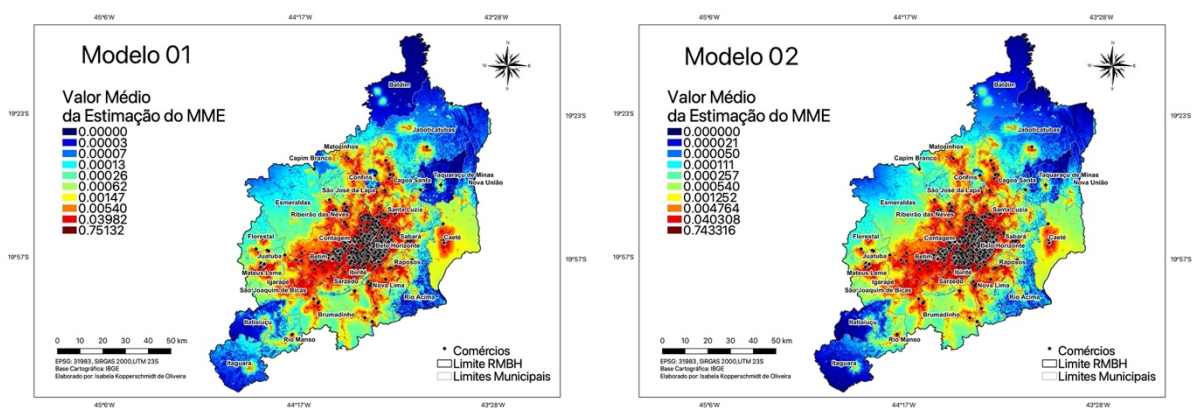
Figura 7.130: Verificação da hipótese (i): os ALs tendem a formar aglomerações.

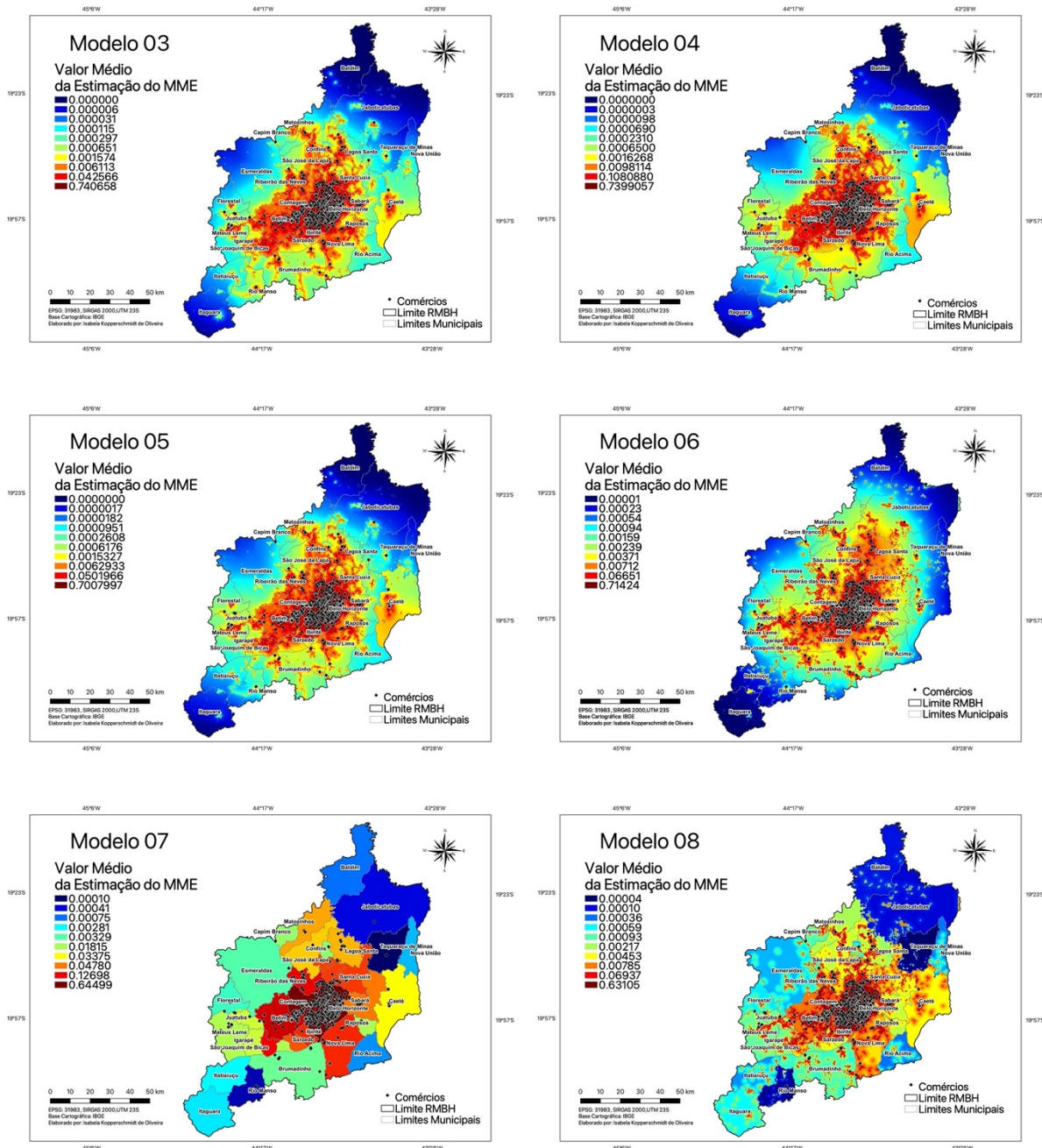




A Figura 7.131 compara os resultados modelos com o fator “Comércio” para comprovar a hipótese (ii): “os ALs tendem a se localizar próximos aos consumidores”. Quando esse fator foi considerado como variável independente, ele apresentava a maior contribuição nos modelos, representado uma *proxy* dos consumidores potenciais para os produtos dos ALs. Foi possível perceber que nos locais que não havia ALs existe a probabilidade de localização dos mesmos. Isso comprovou a hipótese de que os ALs tendem a se localizarem próximo aos seus consumidores e amplia as possibilidades para políticas públicas de atração de instalação de novos ALs. O fomento à atividade comercial representa não só um aumento na probabilidade de localização de ALs para o território, mas também contribui para o desenvolvimento econômico.

Figura 7.131: Verificação da hipótese (ii): os ALs tendem a se localizar próximos aos consumidores

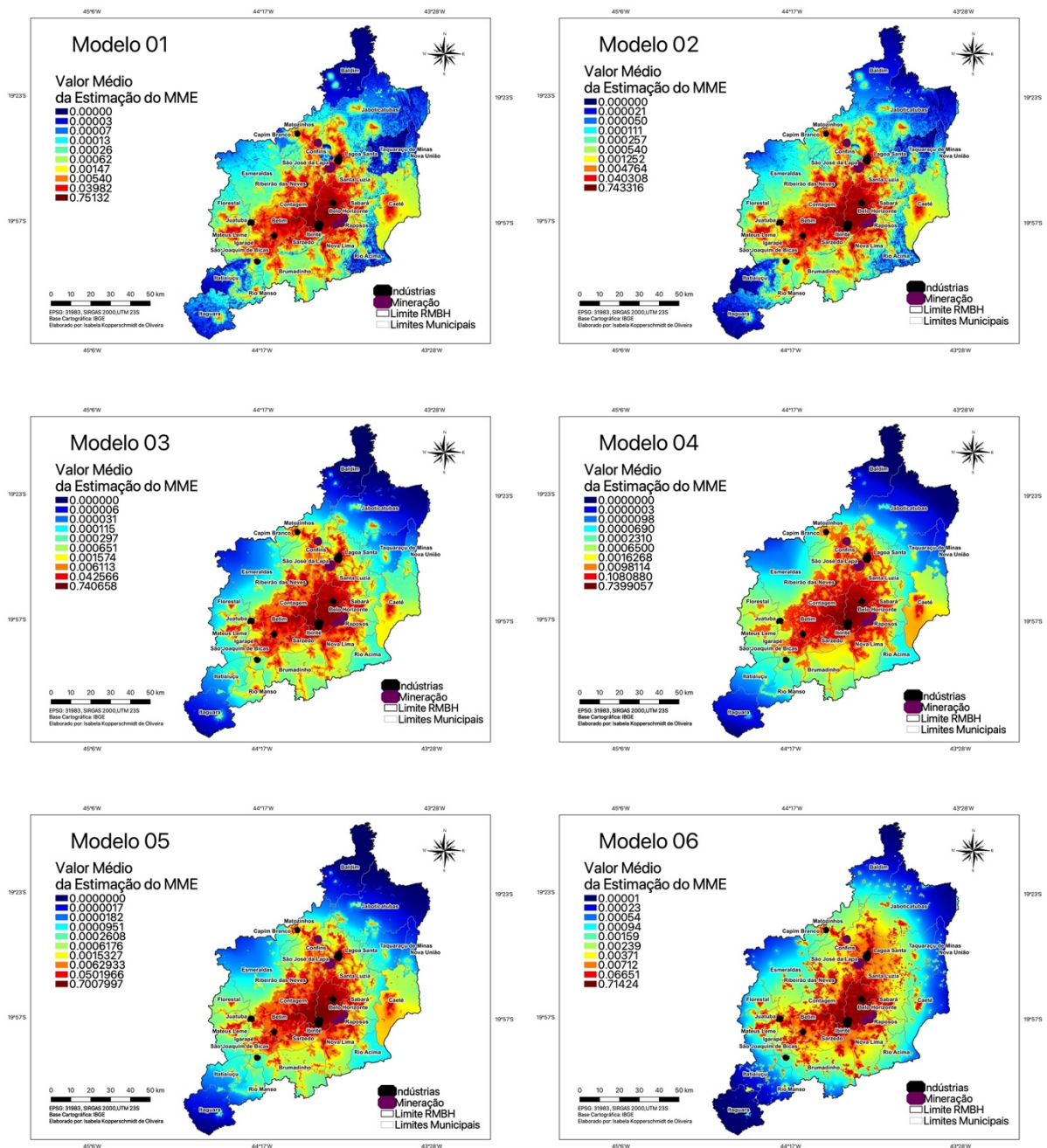


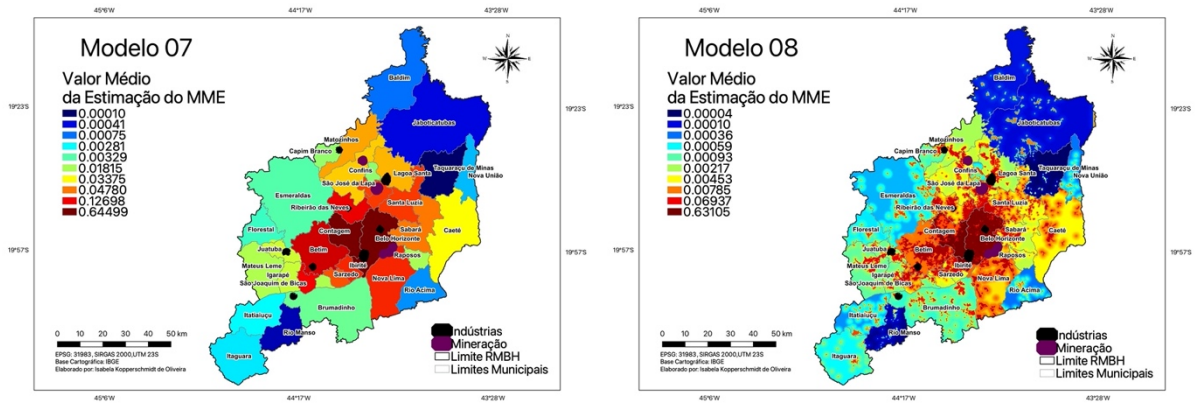


Para avaliar a hipótese (iii) referente a proximidade dos potenciais embarcadores como atratores dos ALs foi comparado o resultado da estimação dos modelos com a localização das zonas industriais e zonas minerárias. Percebeu-se que as regiões do último quartil não se localizam exatamente nas zonas industriais ou minerárias, mas se encontraram bem próximas a elas. Esse resultado pode ser em decorrência desses fatores não terem sido muito significantes nos modelos, o que indicou que a proximidade dos fornecedores foi um fator importante, pois os ALs ainda se localizaram preferencialmente em áreas bem próximas à essa zonas, entretanto ainda existiram outros fatores a serem considerados quando ponderados junto com a

proximidade dos embarcadores se tornaram mais importantes, afastando os ALs dos mesmos. Esses resultados podem ser observados nas representações cartográficas da Figura 7.132.

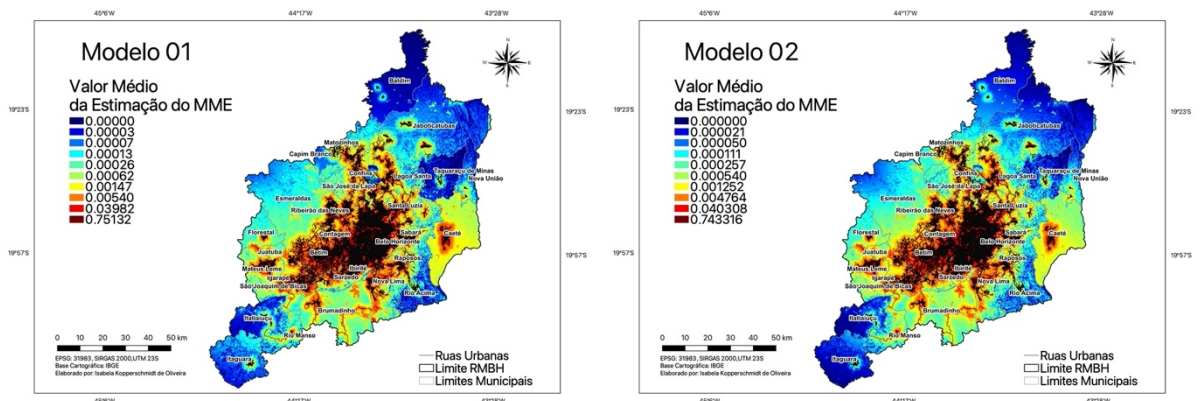
Figura 7.132: Verificação da hipótese (iii): os ALs tendem a se localizar próximos aos embarcadores

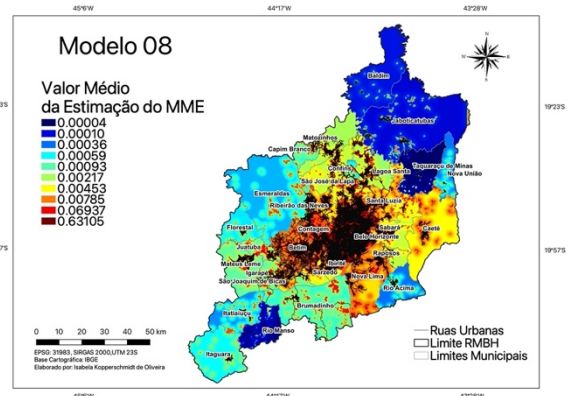
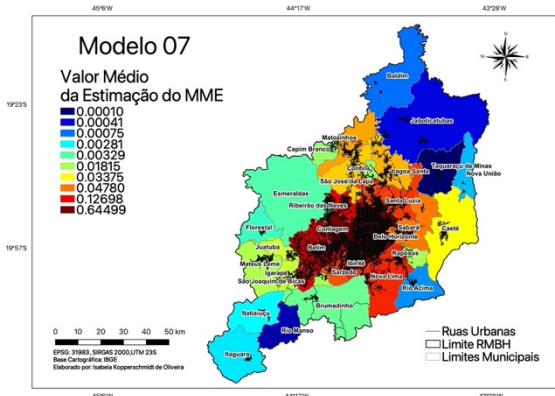
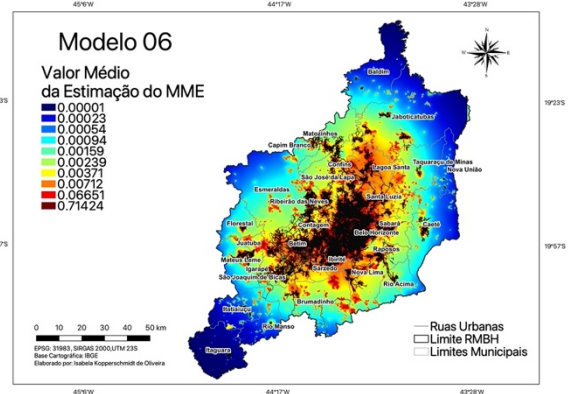
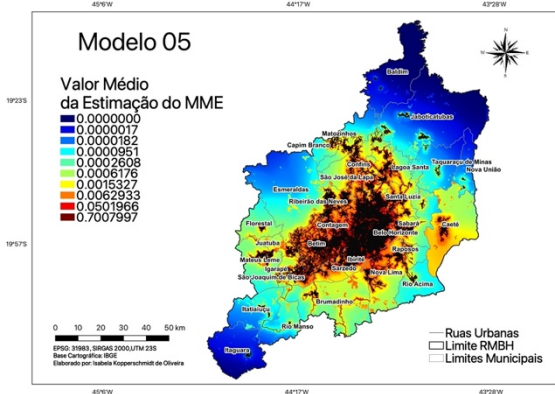
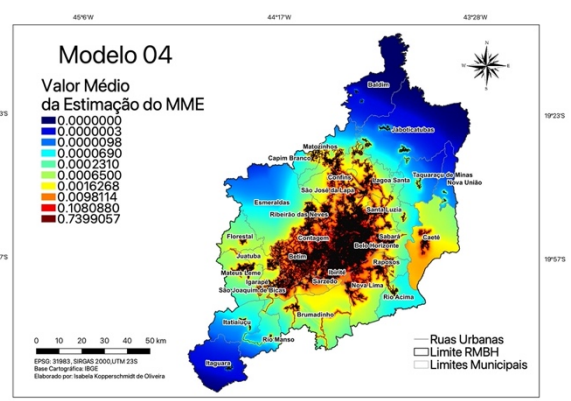
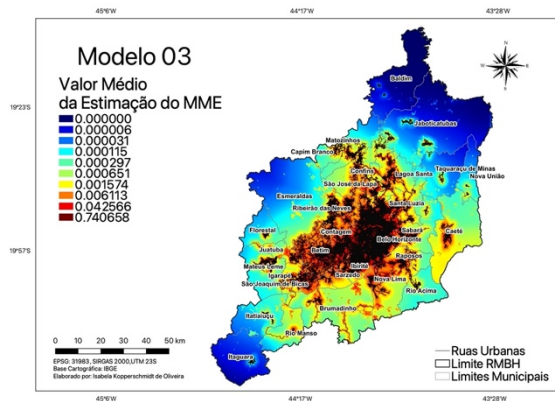




O sistema viário urbano desempenhou um papel fundamental nos modelos estimados. As maiores probabilidades de localização de ALs foram observados em locais que há vias urbanas. Elas são responsáveis pelo transporte capilar da mercadoria, e esse resultado demonstrou que elas foram mais importantes que as vias de interligação regional, pois são a partir delas que os veículos de carga acessam os ALs, os produtores e os consumidores. Assim, as vias urbanas foram o principal fator que a administração pública deve intervir para atrair os ALs e mitigar as externalidades do TUC. Como não foi considerado a hierarquização das vias neste estudo e o fluxo médio diário ou na hora-pico hierarquicamente ou foram inseridas informações de fluxo, -por se tratar de um estudo inicial e não ter obtido tais dados de volume de circulação das vias urbanas de toda a RMBH -, foram apontados alguns polos potenciais de localização de ALs, como Caeté e Mateus Leme que possuem poucos ALs, pois possuírem uma rede viária mais densa, se tornando assim potenciais locais para sua instalação, mesmo não sendo esperado esse resultado. Esses resultados se encontram na representação cartográfica da Figura 7.133 e comprovou a hipótese (iv) deste estudo, que os ALs se localizam próximos as infraestruturas de transporte.

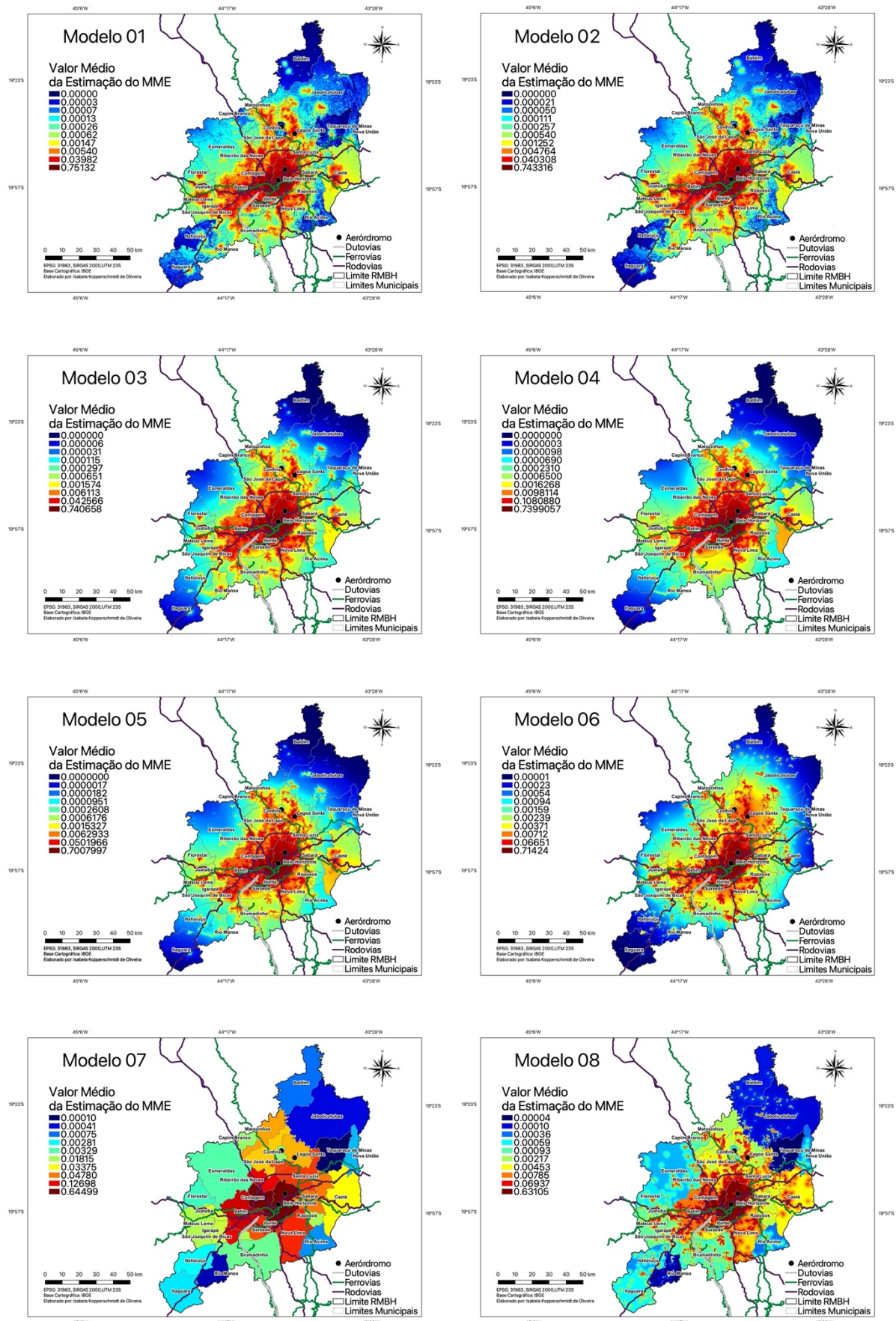
Figura 7.133: Verificação da hipótese (iv): os ALs tendem a se localizarem próximos as infraestruturas de transporte





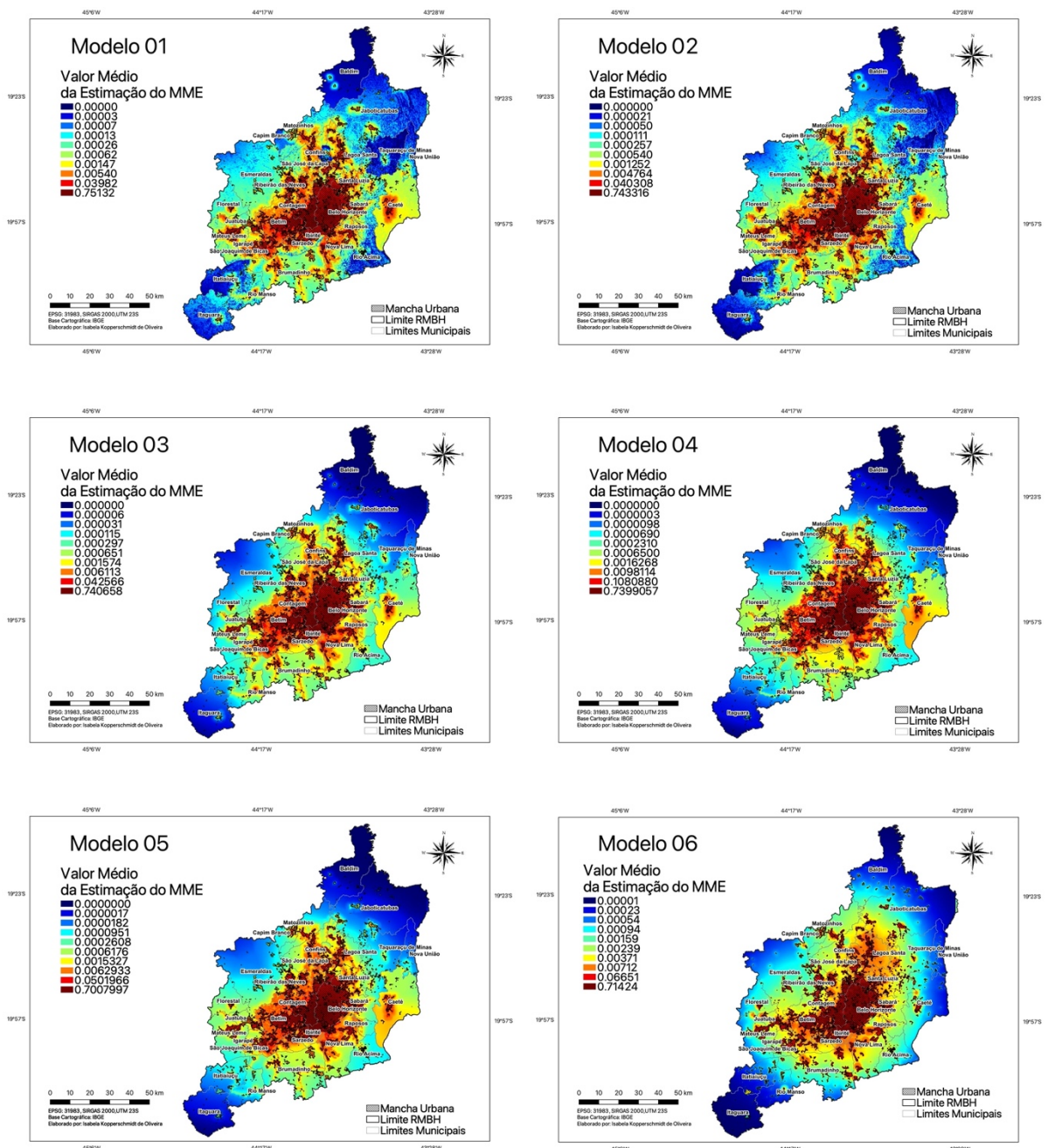
Uma rede modal de transporte diversa é fundamental para os ALs (Jaller *et al.* 2017). Esse modelo foi capaz de estimar essa importância. Os maiores valores da estimativa dos modelos se encontraram nos locais onde há mais de um modo de transporte disponível a uma curta distância, comprovando assim a hipótese (v). Esses resultados podem ser observados na Figura 7.134. Assim, é fundamental realizar investimentos, principalmente no modo ferroviário, para aumentar a diversidade da matriz modal da região e com isso não só melhorar a rede de distribuição logística, mas também aumentar a interligação entre os municípios da RMBH, que atualmente não são totalmente integrados.

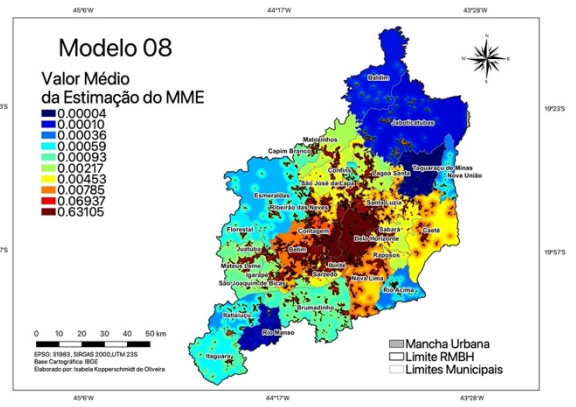
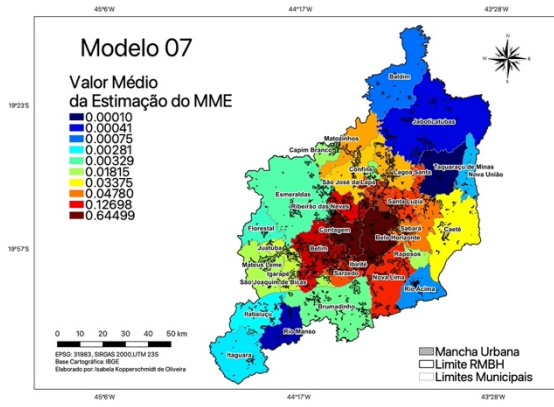
Figura 7.134: Verificação da hipótese (v): os ALs tendem a se localizarem próximos a rede de transporte regional



A Figura 7.135 ilustra a sobreposição da mancha urbana com estimados de modelos de máxima entropia. Relacionado com a hipótese (vi), se percebeu que os ALs se localizaram no perímetro urbano, sendo que os tons frios foram observados nas áreas rurais dos municípios. Esse é um dos principais motivos para os extremos norte e sul apresentarem tão baixas probabilidade de localização de ALs, pois são municípios com maior porção rural que urbana. A exemplo dos municípios Baldim, Jaboticatubas, Taquaraçu de Mina, Itatiaiuçu e Itaguara são municípios de grande extensão, mas com pequeno núcleo urbano.

Figura 7.135: Verificação da hipótese (vi): os ALs se localizam nas áreas urbanas





8 APLICAÇÃO DOS RESULTADOS PARA PROPOSIÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O TUC

Essa seção apresenta algumas reflexões de como os resultados apresentados na última seção podem ser utilizados pela administração pública para o desenvolvimento sustentável das regiões metropolitanas no que tange o TUC. As discussões apresentadas são baseadas no modelo 02, que não apresenta colinearidade entre os fatores e possui o maior valor de AUC. Ainda, os estudos de Kiba-Janiak (2018) (*Logistics: In The Cities' Development Strategies*) e de Williams e Carrol (2015) (*Integrating Freight into Livable Communitites*) foram bases para as discussões apresentadas a seguir.

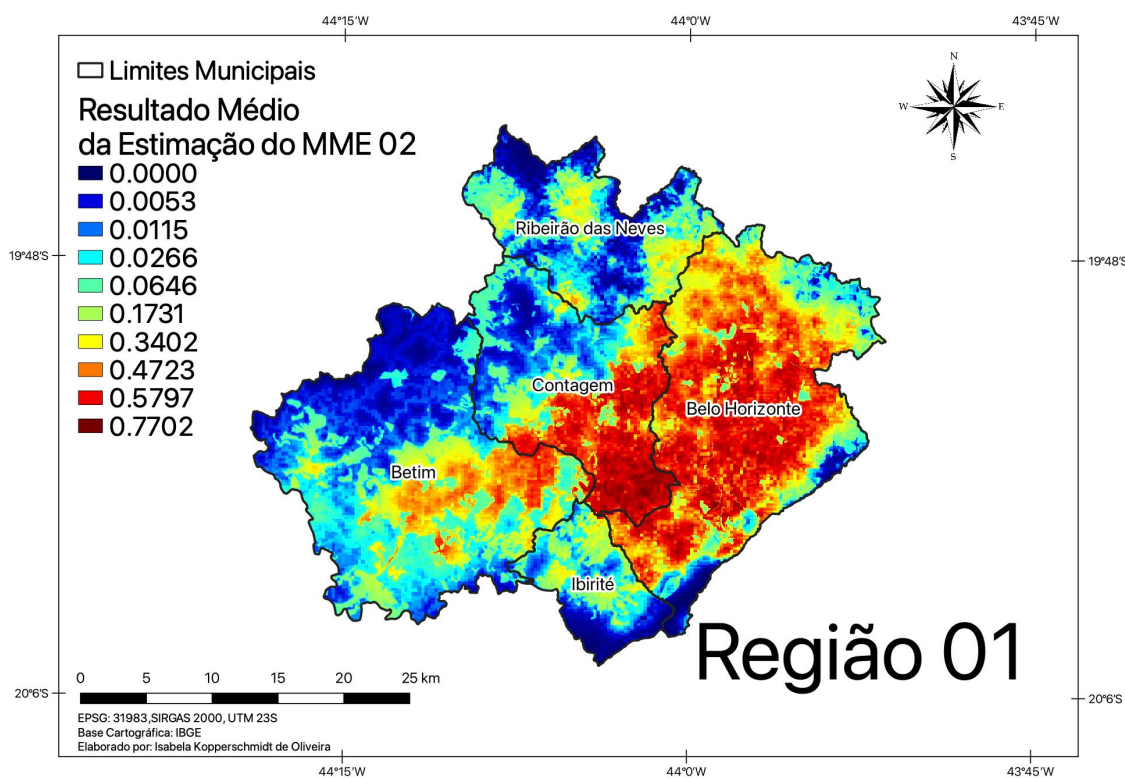
Segundo Muñuzuri *et al.* (2005), as intervenções no meio urbano que promovem o desenvolvimento sustentável das comunidades relacionadas ao transporte de carga podem ser de cinco naturezas:

- Construção ou adaptação de infraestrutura logística;
- Gerenciamento do uso do solo;
- Garantia de acessibilidade a zonas selecionadas da cidade para veículos específicos e de maior porte;
- Introdução de novas soluções relacionadas a gestão do fluxo de pessoas e cargas relacionadas à atividade; e
- Promover e popularizar meios de transporte ecológicos nas cidades.

No intuito de elaborar as políticas públicas para o TUC na RMBH, a região foi subdividida em 06 áreas, para se observar mais claramente os resultados obtidos pela modelagem. Como os modelos foram obtidos para a RMBH como um todo e os resultados foram agrupados em 10 quartis, por vezes o último quartil abrigou uma grande gama de valores nele, sendo que em alguns modelos o último quartil agrupava probabilidades entre 10% e 70%. Por isso a necessidade de separar a RMBH em zonas mais homogêneas, para poder observar melhor os valores fornecidos pelo modelo. A primeira região e mais importante é o núcleo da RMBH, composto pelos municípios de Belo Horizonte, Contagem, Betim, Ribeirão das Neves e Ibirité (Figura 8.1). Nesse recorte espacial foi possível perceber que Ibirité e Ribeirão das Neves não possuem altos valores de estimação no modelo 02, assim como boa parte do território de Betim possui menores valores de probabilidade. O local com maior probabilidade de instalação de

ALs é o sudeste do município de Contagem, onde se localiza o bairro industrial. O município de Betim também possui áreas com relevante probabilidade de localização de ALs e tem sido o foco de atração do Governo Estadual para políticas de incentivos fiscais e parcerias para instalações de novos ALs. Os zoneamentos para os ALs com incentivos fiscais é uma iniciativa interessante, pois além de redirecionar o transporte de veículos pesados para longe das áreas residenciais, fomenta a economia local ao atrair novos investimentos (Williams & Carrol, 2015). Desta forma, sugere-se o desenvolvimento de Centros Logísticos Integrados ou Condomínios Logísticos, já propostos no PDDI, que abrigue as atividades relacionadas ao transporte das mercadorias e seja utilizado por várias transportadoras. Para o estabelecimento de Centros Logísticos Integrados é desejavelmente uma região com oferta de diferentes sistemas de transporte e que ocorra a integração multimodal para facilitar o acesso da mercadoria à rede de distribuição, consolidando a atividade logística e aumentando a eficiência operacional da atividade (FHWA, 2012).

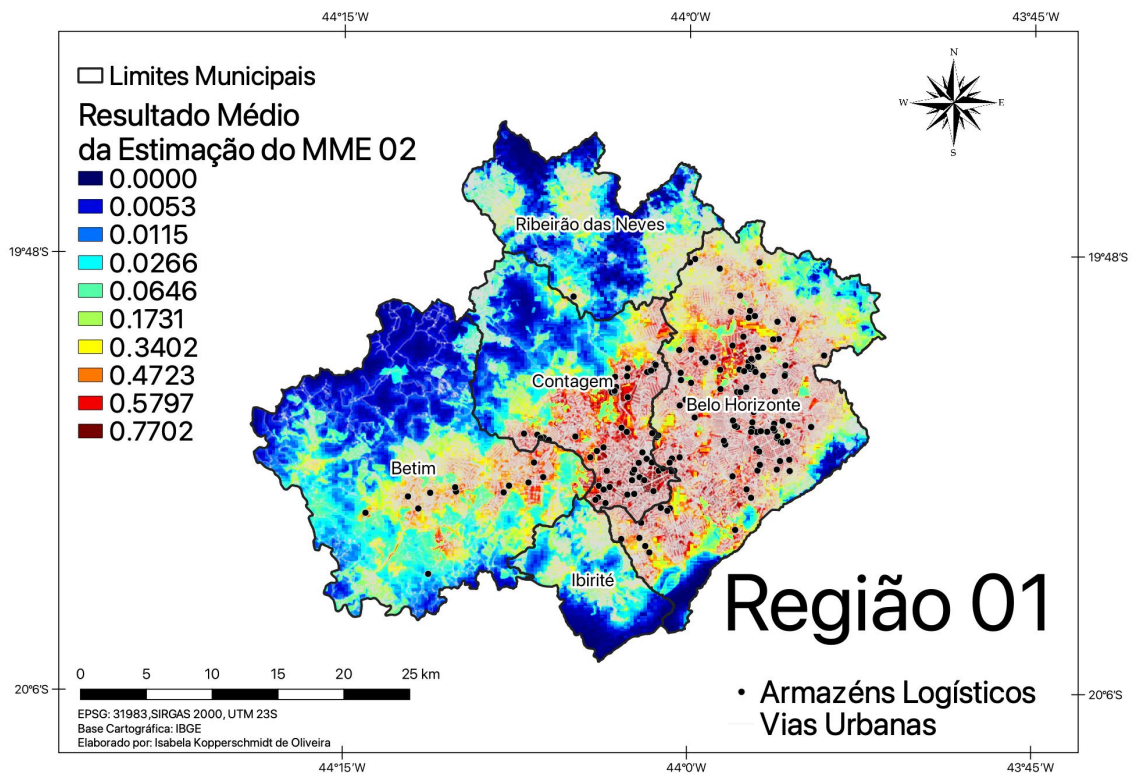
Figura 8.1: Resultado do modelo 02 para a região 01



Os municípios como Belo Horizonte e Contagem além de serem os municípios com as maiores probabilidades de instalação de novos ALs, também são municípios que já possuem grande número de ALs. Por isso é preciso pensar em alternativas não só para novos ALs, mas também para os ALs já existentes objetivando mitigar as externalidades relacionadas ao TUC. O núcleo da RMBH se configurou não só como um local propício para a instalação de ALs, mas também

se configura como um local de grande fluxo de veículos de carga de passagem. Municípios como Betim, Contagem e Belo Horizonte possuem altos níveis de congestionamentos em função do tráfego de veículos pesados que não necessariamente são decorrentes dos ALs. Os veículos de carga devem ser direcionados para rotas preferenciais e assim, dar preferência e fluidez ao trânsito local (FHWA, 2009; Rhodes *et al.*, 2012). Esse tipo de solução pôde ser observada nesses municípios da RMBH, entretanto não tem sido executada de maneira eficiente, pois ainda se percebe uma grande mistura de veículos de carga utilizando de rotas não preferenciais, em decorrência da quantidade significativa de viagens cotidianas sendo realizadas por meio dessas rotas preferenciais. Os veículos de carga não são proibidos de usarem outras vias de circulação, mas são incentivados a utilizarem as vias preferenciais até o local mais próximo ao seu destino, e cabe a administração pública identificar as vias com potencial para se tornarem vias preferenciais, regulamentando, incentivando e fiscalizando seu uso (Rhodes *et al.*, 2012). Conjuntamente é necessário observar o desenho viário nos locais onde estão os ALs que tem características de polo gerador de viagem, atraindo veículos de carga de maior porte, pois esses veículos também necessitam de um desenho geométrico adequado para a realização das manobras e permitir melhor fluidez do tráfego. Assim, nos locais com maior probabilidade de localização de ALs e que já existe uma quantidade significativa deles é interessante readequar o desenho geométrico de interseções para melhorar a fluidez e com isso melhorar a eficiência do TUC (Williams & Carrol, 2015). Também em função do grande número de ALs existentes, do tamanho dos ALs e da possibilidade de formar aglomerações, sugere-se implantar um programa de certificação verde para os ALs e incentivar o uso de veículos verdes (Williams & Carrol, 2015). A Figura 8.2 ilustra o modelo 02 na região 01 com suas vias urbana e os ALs, sendo possível observar a concentração de ALs ao sul de Contagem, e diversos ALs espalhados por Belo Horizonte. A malha viária também se mostra mais densa nesses dois municípios, sendo eles os mais propícios para iniciativas de implantação de certificação ecológica e veículos verdes.

Figura 8.2: Resultado do modelo 02 para a região 01 com ALs e sistema viário urbano



A região 02, ilustrada na Figura 8.3 e Figura 8.4, possui municípios que a máxima probabilidade de localização de ALs é inferior a 30%. Foi possível perceber que Nova Lima não possui probabilidade tão alta de localização de ALs como os municípios da região 01, mas foi o município dessa região com maior probabilidade de receber ALs na região 02. Esse município possui diversas áreas de proteção e é uma cidade marcada por sua atividade minerária e áreas residenciais de luxo em contraste com zonas bem pobres. Desta forma, a região 02 necessita que os municípios tenham em regulamentado no Código de Posturas e Leis Complementares a atividade de carga e descarga de maneira adequada e não apenas restritiva e direcione os veículos de maior porte para vias de maior capacidade, com inclinação adequada para a movimentação dos mesmos.

Figura 8.3: Resultado do modelo 02 para a região 02

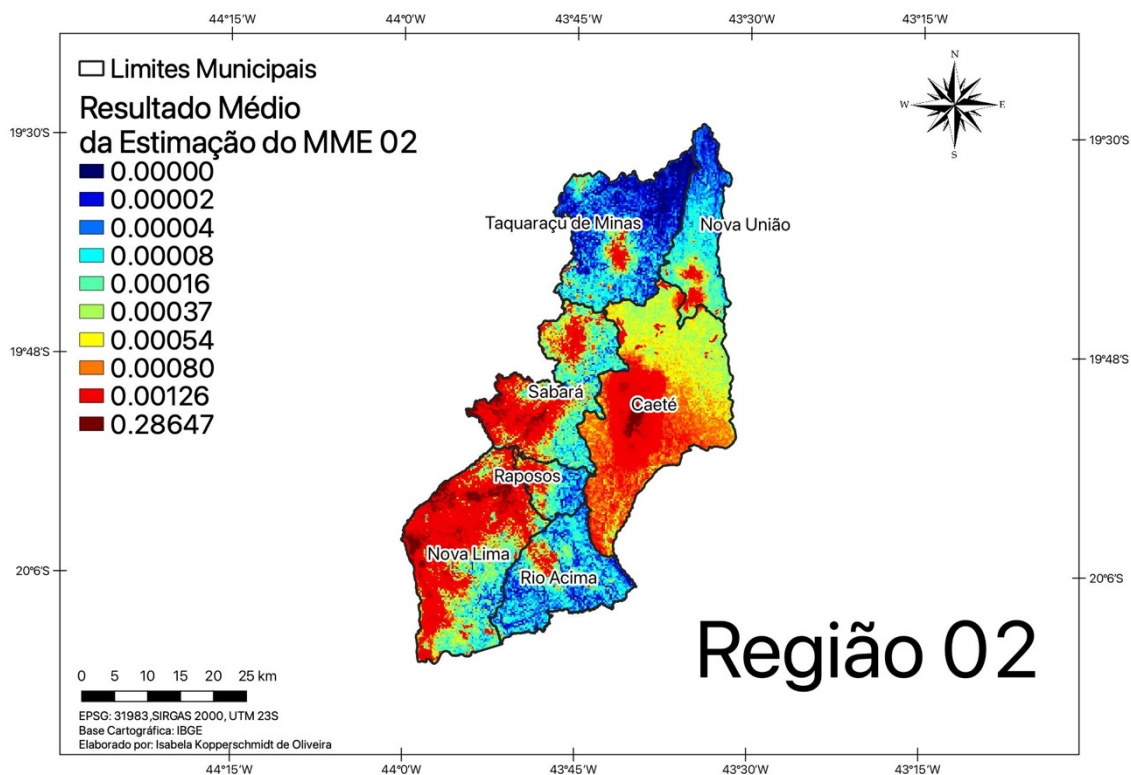
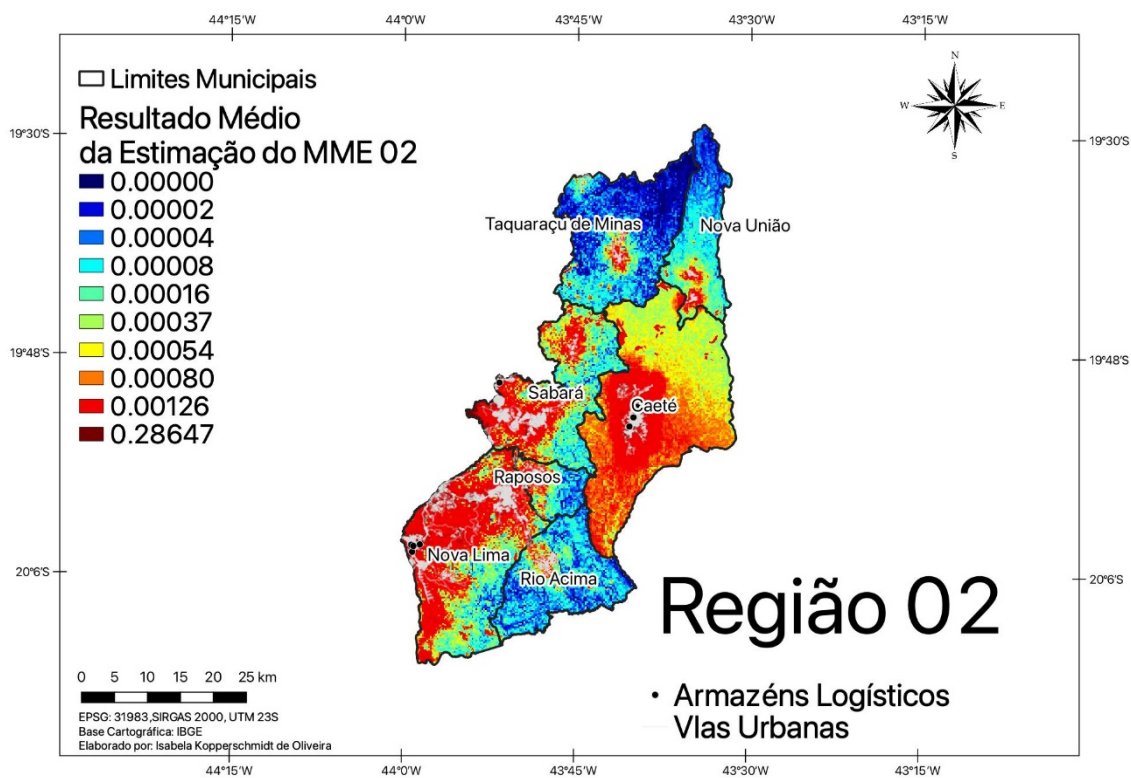


Figura 8.4: Resultado do modelo 02 para a região 02 com ALs e sistema viário urbano



Na região 03 estão contidos os municípios Santa Luzia, Vespasiano, Confins, São José da Lapa, Lagoa Santa e Pedro Leopoldo (Figura 8.5 e Figura 8.6). Desses municípios, apenas Santa Luzia possuiu altas probabilidades de localização de ALs. Entretanto, essa região tem potencial para atrair novos ALs por abrigar o principal aeroporto da RMBH com significativa movimentação de carga, inclusive em contexto nacional. Desta forma, podem ser realizados investimentos para a interligação dos modos de transporte troncais como ferrovias e rodovias e a construção de terminais logísticos para atender o aeroporto internacional (Thompson *et al.* 2001). Ainda, podem ser criados incentivos fiscais para o estabelecimento centros logísticos nessa região (FHWA, 2012). Além disso, é necessário que estejam inclusas medidas mitigadoras nos planos diretores municipais e nos planos de mobilidade para a mitigação dos impactos da instalação dos novos ALs, a exemplo da região 01 (FHWA, 2009; Rhodes *et al.*, 2012).

Figura 8.5: Resultado do modelo 02 para a região 03

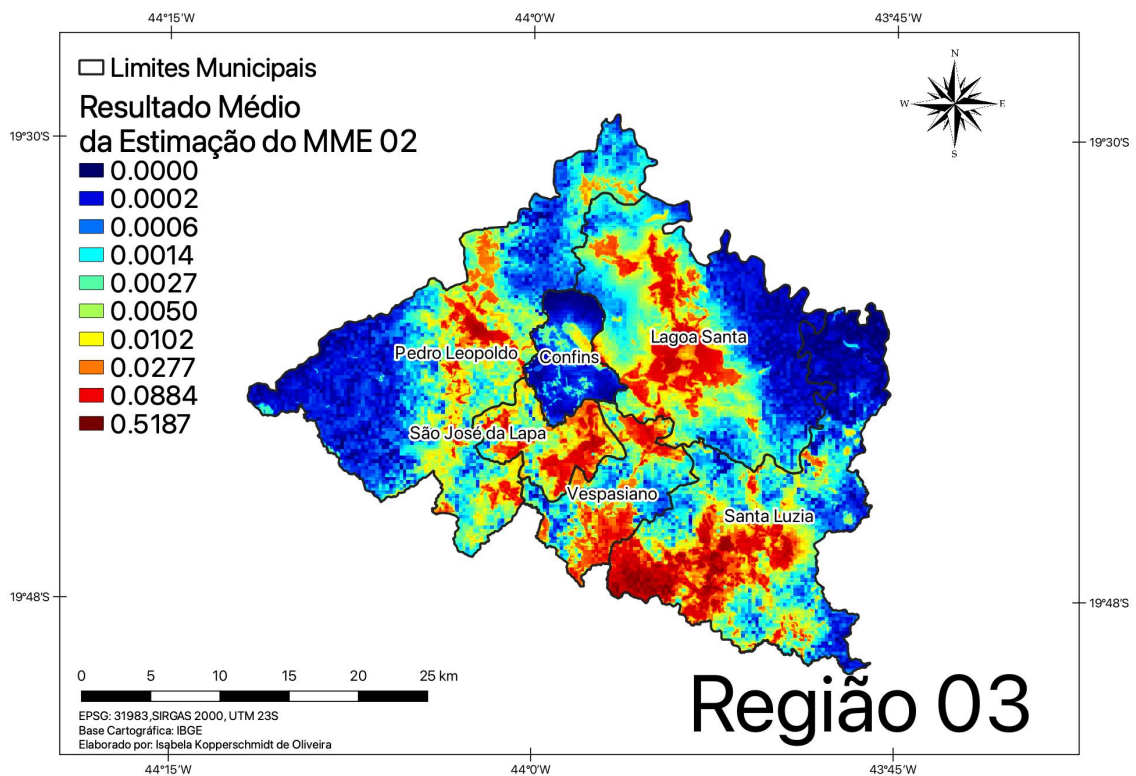
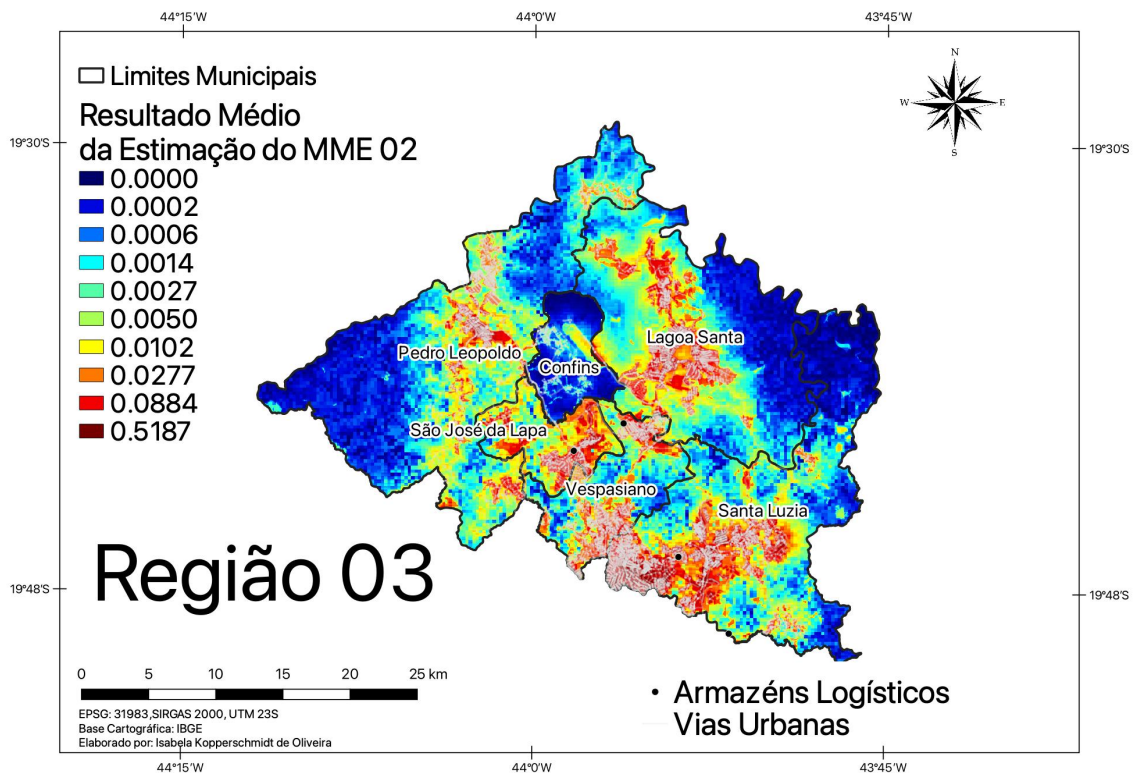


Figura 8.6: Resultado do modelo 02 para a região 03 com ALs e sistema viário urbano



A região 04 contém os municípios do extremo norte as RMBH que não apresentaram integração com a metrópole e também não possuíram muitos ALs. Na situação atual, é importante a regulamentação do TUC por parte da gestão municipal, como sugerido na região 02. Entretanto, no intuito de promover o desenvolvimento local e regional para essa região são fundamentais investimentos em ferrovias e rodovias, não apenas para atração de ALs, mas para integração desta porção do território com o restante da RMBH e, assim, promover melhor acessibilidade da população aos serviços que são disponíveis apenas na metrópole ou nas cidades do entorno, melhorando a qualidade de vida da população. A Figura 8.7 e Figura 8.8 ilustram o modelo 02 na região 04, os ALs dessa região e as vias urbanas.

Figura 8.7: Resultado do modelo 02 para a região 04

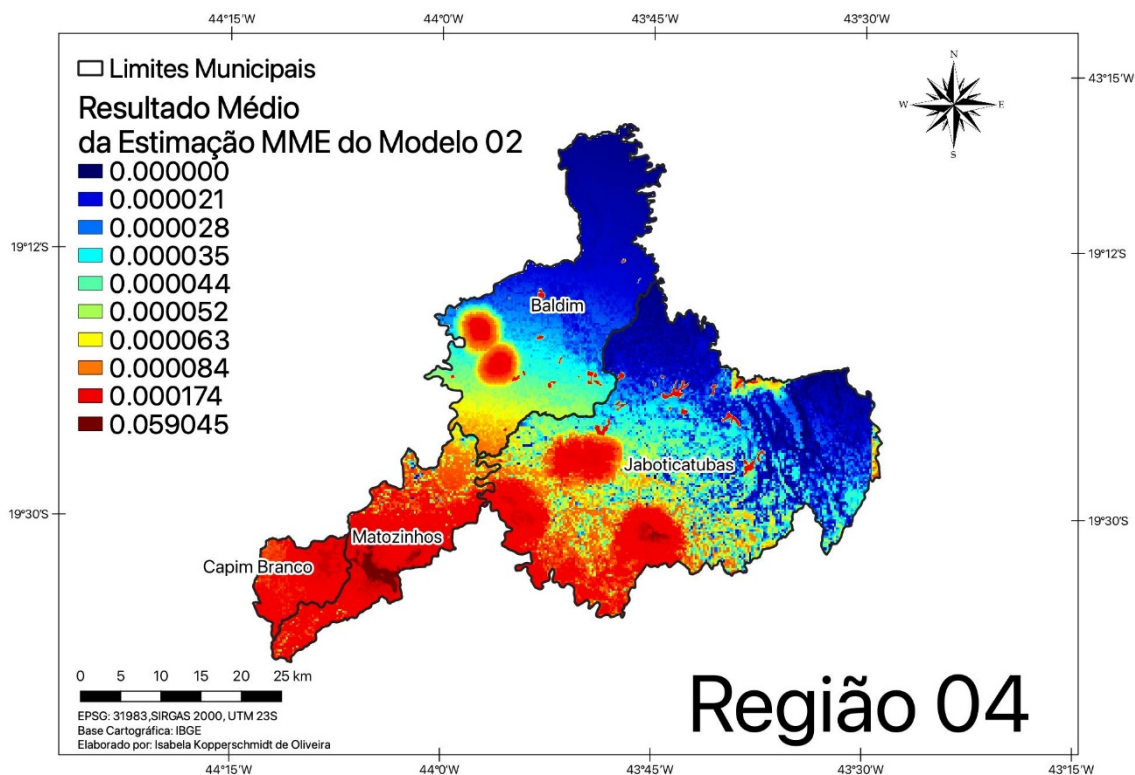
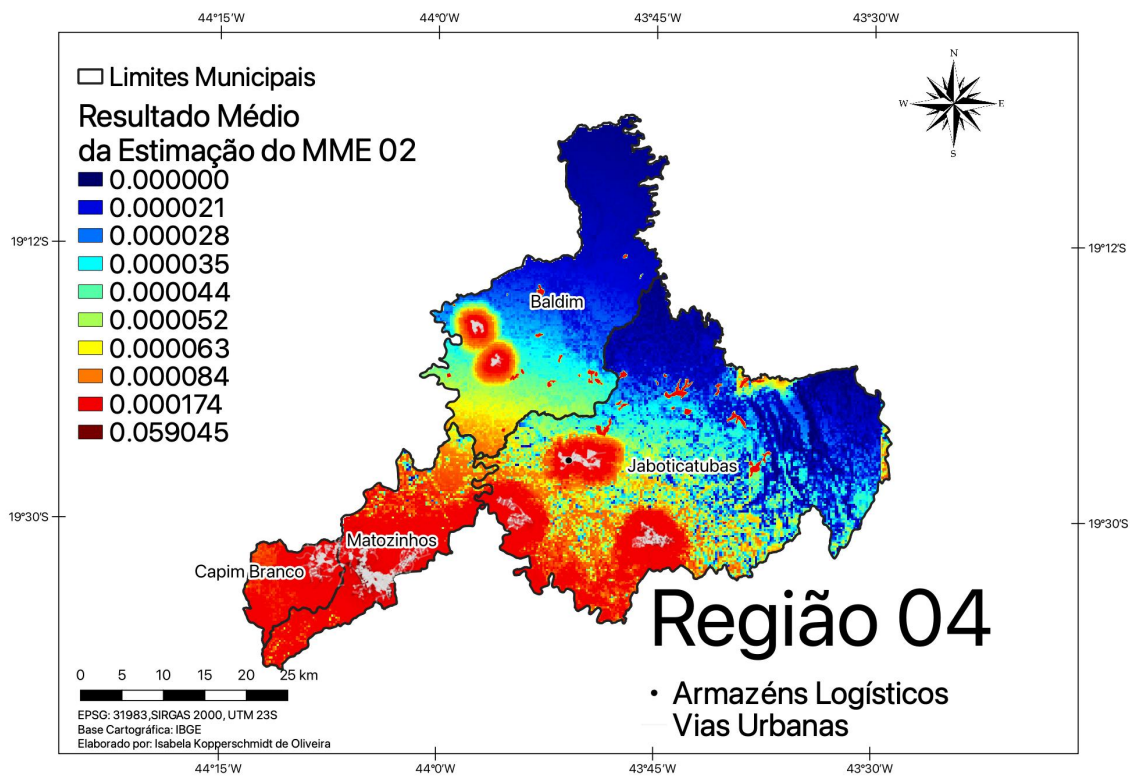


Figura 8.8: Resultado do modelo 02 para a região 04 com ALs e sistema viário urbano



A região 05 (Figura 8.9 e Figura 8.10) apresentou as mesmas características da região 04. Desta forma, sugere-se a regulamentação da atividade de carga e descarga e a circulação de veículos pesados sem restrições excessivas, mas de maneira sustentável no Código de Posturas e Leis Complementares, a exemplo do sugerido para a região 02. Ainda, como essa região possui maior integração com a metrópole, a manutenção de boas condições da infraestrutura de rodovias e ferrovias é necessária para promoção da integração regional.

Figura 8.9: Resultado do modelo 02 para a região 05

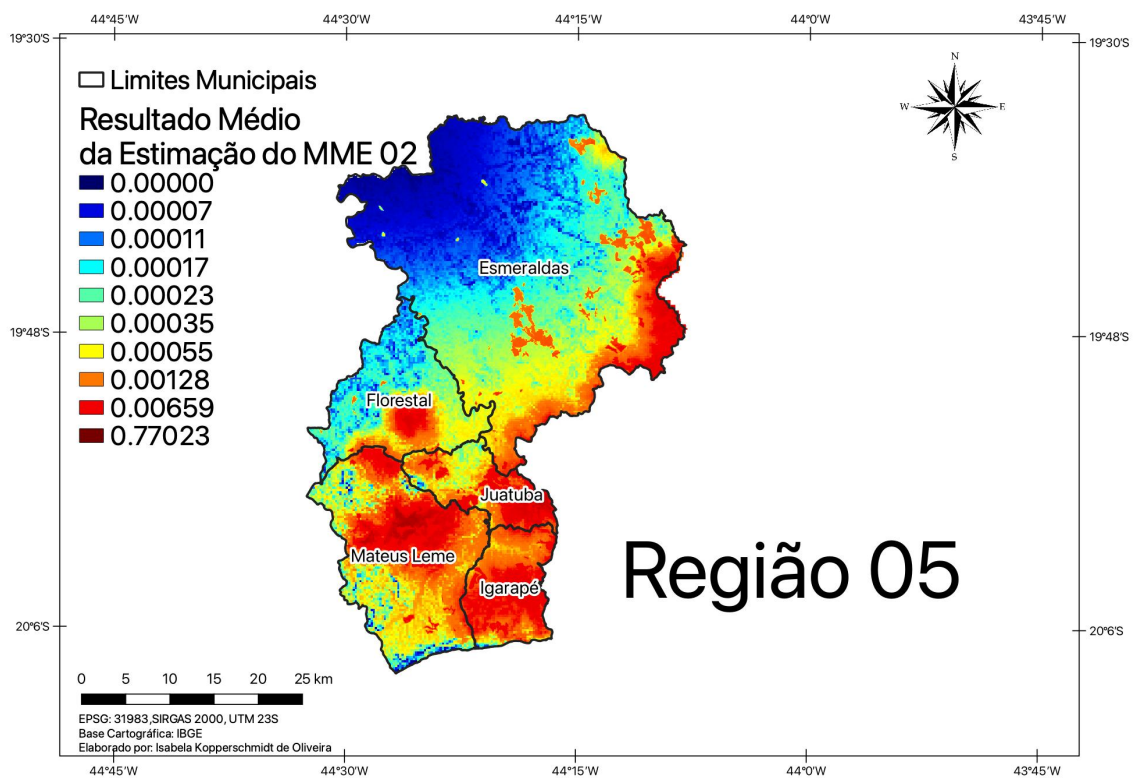
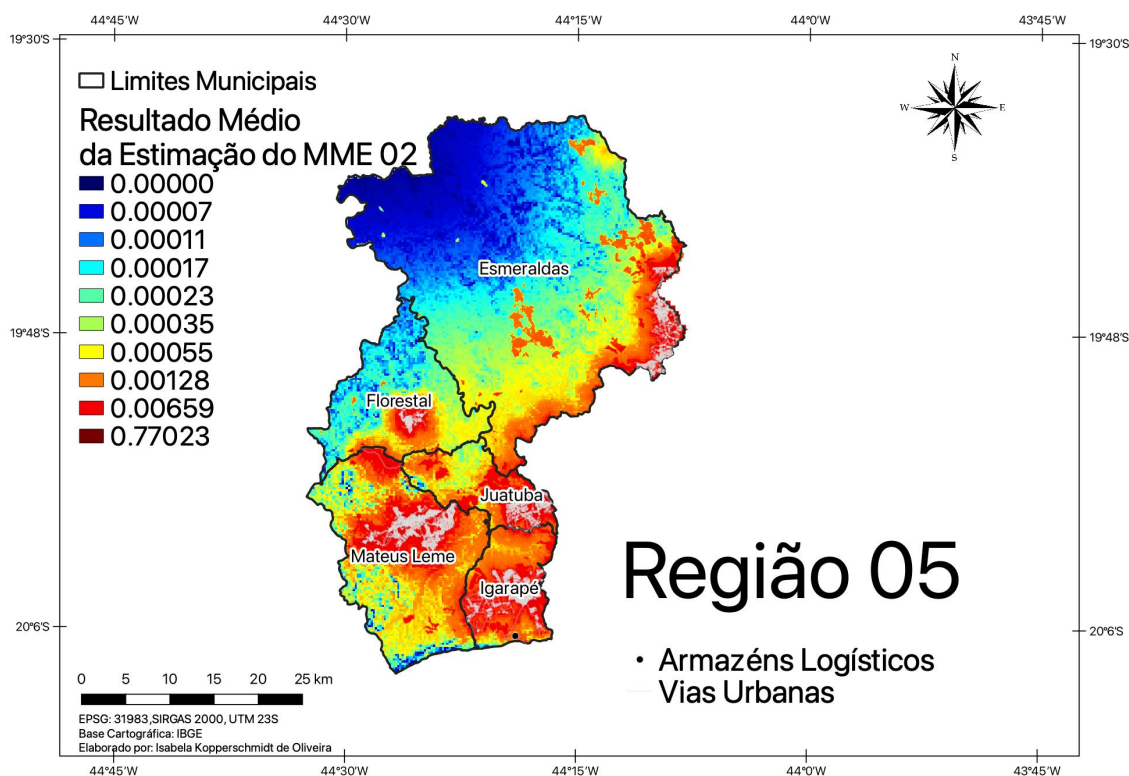


Figura 8.10: Resultado do modelo 02 para a região 05 com ALs e sistema viário urbano



A região 06 (Figura 8.11 e Figura 8.12) apresentou municípios com probabilidade de localização de ALs em torno de 30%. Apesar disto, os municípios Sarzedo, São Joaquim de Bicas e Brumadinho devem prever normas para construção de ALs e zonas para sua construção nos seus planos diretores em função de sua vocação econômica. Ainda, os municípios da região 06 devem ter a regulamentação para operações de ALs e veículos de cargas em seus Códigos de Posturas e Leis Complementares. Além disso, a região pode se beneficiar com o investimento em uma rede ferroviária de interligação com a região 01, para melhorar a qualidade de vida da população local.

Figura 8.11: Resultado do modelo 02 para a região 06

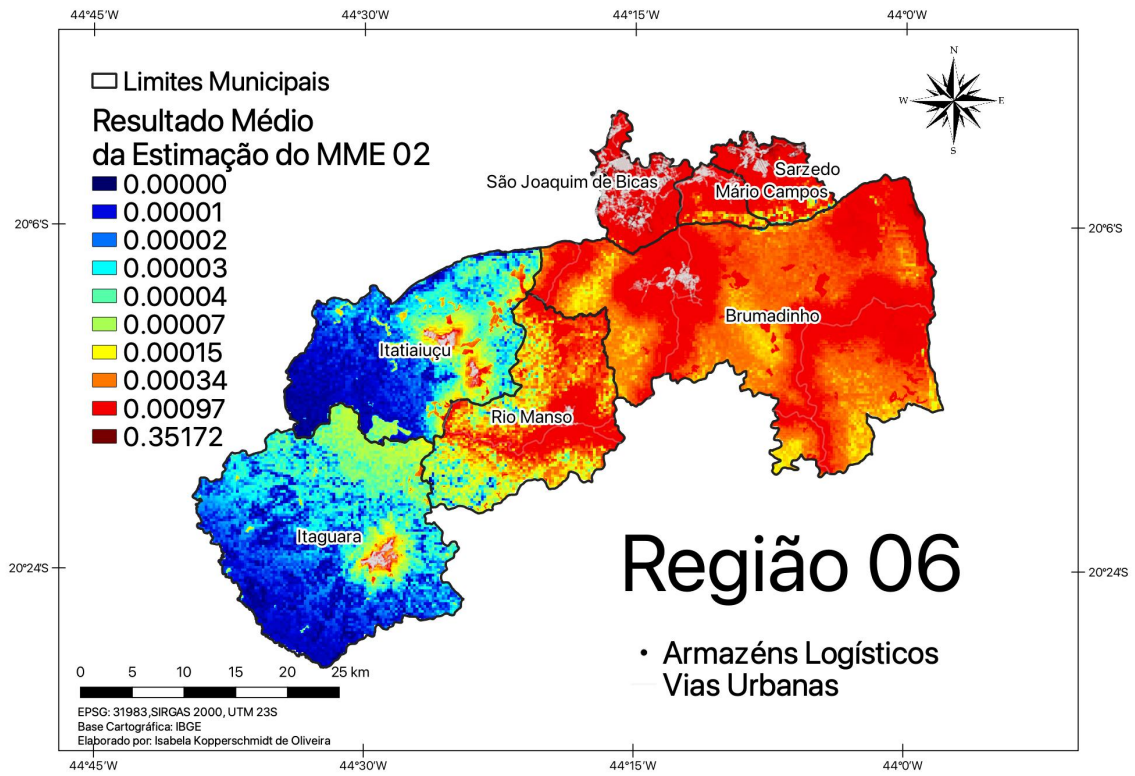
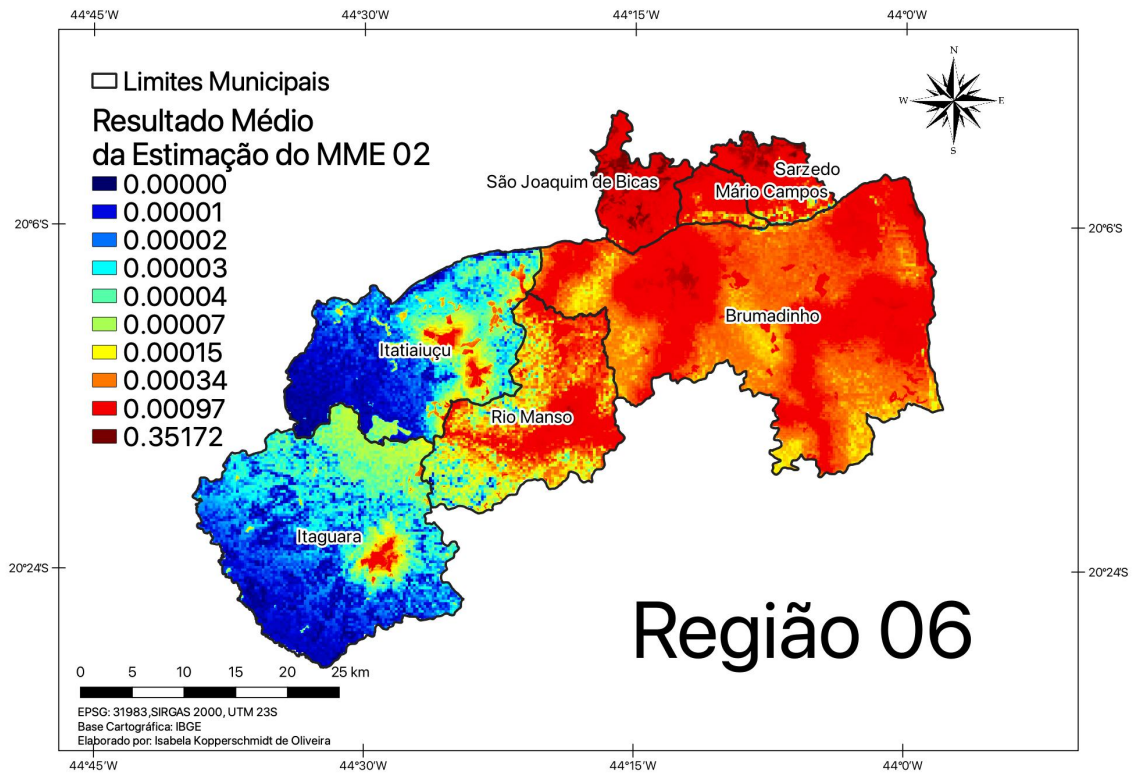


Figura 8.12: Resultado do modelo 02 para a região 06 com ALs e sistema viário urbano



A Tabela 8.1 apresenta o resumo das diretrizes propostas para as diferentes regiões da RMBH. Com as divisões das regiões fica evidente a necessidade de analisar o modelo também em uma escala micro, pois para que as diretrizes de planejamento do TUC relacionadas aos ALs sejam sustentáveis. Ainda, é necessário observar a realidade local de cada município e a real probabilidade de instalação de ALs neles.

Tabela 8.1: Resumo das diretrizes sugeridas para RMBH

Região	Diretrizes sugeridas
Região 01	Criação de Centros Logísticos Integrados; Sistema de integração multimodal; Rotas preferenciais para VC; Adequação do desenho viário aos VCs; Incentivo a programas de certificação ambiental e VCs verde.
Região 02	Regulamentação das operações de carga e descarga no plano diretor.
Região 03	Incentivos fiscais para atração de ALs; Investimentos na diversificação modal, principalmente que ligue ao Aeroporto Internacional.
Região 04	Regulamentação das operações de carga e descarga no plano diretor; Investimentos em rodovias e ferrovias.
Região 05	Regulamentação das operações de carga e descarga no plano diretor; Investimentos em rodovias e ferrovias.
Região 06	Regulamentação das operações de carga e descarga no plano diretor; Investimentos em rodovias e ferrovias.

A RMBH constitui um território fragmentado por razões políticas, mas isso não significa que o horizonte de planejamento indique a formação de uma mancha de conurbação urbana por todo seu território, pelo contrário. Para o desenvolvimento sustentável é necessário se ater aos pontos fortes de cada município e respeitar o meio ambiente. É necessário para o meio ambiente se manter a preservação da mata atlântica, preservar as diversas nascentes e mananciais assim como é necessário manter a atividade agrícola da região. A RMBH como um todo necessita de uma melhor integração regional, não só para sua rede logística de distribuição de mercadorias, mas para o deslocamento de pessoas também. Por isso as principais diretrizes para a maioria das regiões perpassam a melhoria na rede da infraestrutura de transportes. Para as regiões onde se identificou uma maior probabilidade de instalação de ALs, então, que as proposições

punderam ser mais focadas para o fomento da atividade logística e o planejamento da mesma com o intuito de mitigar suas externalidades, para que ela traga mais desenvolvimento que impactos negativos como congestionamentos, emissões de CO₂ e ruídos.

9 CONCLUSÕES

O transporte urbano de cargas é caracterizado por ser uma atividade essencial para a realização das atividades cotidianas das cidades. Entretanto, é uma atividade que traz consigo diversas externalidades como aumento de congestionamentos, emissão de CO₂, ruídos e outros mais. Com isso é essencial incluir o fluxo de cargas o planejamento de transportes no planejamento urbano para que esses impactos sejam minimizados e promover a eficiência do TUC, proporcionando desenvolvimento econômico sustentável. O TUC é o resultado dos interesses de diversos agentes com a infraestrutura logística. Os armazéns logísticos fazem parte da infraestrutura logística e é fundamental no sistema de abastecimento das mercadorias. Seu processo de localização, atualmente, não perpassa pela esfera administrativa do planejamento urbano, assim, um AL se insere no território e os impactos oriundos de sua atividade, principalmente decorrente da movimentação de mercadoria, se tornam externalidades do TUC que poderiam ser reduzidos se o processo de localização de ALs também fosse inserido no planejamento urbano.

O TUC por muitas vezes não faz parte dos planos de mobilidade e os ALs não são incluídos no zoneamento urbano ou nas diretrizes de ocupação, pois o fenômeno além de negligenciado é pouco compreendido pela administração pública. O MME possibilita entender este fenômeno para que os gestores públicos possam atuar de maneira mais eficiente na regulamentação do TUC, integrando ao processo de planejamento das cidades.

Os resultados obtidos com os oito modelos demonstraram que esse tipo de modelagem é adequada para descrever o fenômeno de localização dos ALs, pois foi capaz de identificar as tendências já observadas na literatura, principalmente em relação ao espraiamento logístico, que é um fenômeno relacionado aos ALs em regiões metropolitanas. Foi comprovado que os ALs se localizam dentro das áreas urbanas, pois são elas que oferecem a infraestrutura urbana necessária para sua instalação, assim como foi possível notar que os locais cujas condições de saneamento básico e características de urbanização são melhores, a probabilidade de os ALs se instalarem é maior. O sistema viário urbano também representou grande relevância nesse processo, comprovando que as condições de acessibilidade são fundamentais para a sua instalação. Sendo assim é de vital importância adequar o sistema viário ao tráfego dos veículos de carga necessário aos ALs, para que essa instalação logística não se torne um foco de externalidades negativas do TUC. Outro ponto que foi possível identificado com os resultados

da modelagem foi importância que a atividade comercial desempenha na atração de ALs para o município. Logo, cidades com intensa atividade comercial e, conseqüentemente, com maior propensão de atração de ALs devem adequar o sistema viário para a circulação de veículos de carga. Também se observou a tendência de formação de *clusters* de ALs. Neste caso, a administração pública deve promover políticas públicas para criação de centros logísticos, incentivando o uso de veículos verdes e energias limpas. Por fim, os resultados também permitiram compreender o efeito positivo de uma malha modal regional diversa com interligação local.

Além das conclusões acima listadas, os resultados permitiram localizar espacialmente pontos para intervenção. Com isso, a modelagem utilizada nessa dissertação se mostra uma excelente ferramenta não só para a explicação do fenômeno urbano de localização de ALs, como também permite observar os resultados de maneira explícita que facilita sua aplicação em políticas urbanas de maneira mais específica.

Este trabalho abre caminho para a realização de vários outros. Como continuidade deste mesmo estudo sugere-se refinar os fatores utilizados, tentando incluir outros fatores como o custo da terra, o sistema de transporte, o volume de mercadoria circulante, a hierarquia viária e a separação dos estabelecimentos comerciais por grupos. Ainda sobre este estudo é possível, com a mesma modelagem e ferramenta computacional, elaborar cenários preditivos com mudança em alguns dos fatores obtendo modelos preditivos para o fenômeno estudado e a elaboração da análise de sensibilidade dos fatores estudados no modelo. Além disso, esta dissertação abre caminho para modelar outros fenômenos urbanos para o TUC, fato não identificado na literatura, e para outros fenômenos planejamento urbano, uma vez que o modelo se mostrou adequado na modelagem dos fenômenos urbanos assim como na modelagem dos fenômenos da natureza. Sendo assim, é possível realizar uma analogia que os centros urbanos são organismos vivos como os biomas da natureza e os diversos fenômenos que constituem o espaço urbano e dão forma a ele, podem ser comparados as espécies de fauna e flora, que moldam os ambientes naturais.

REFERÊNCIAS

- Abad, H. K. K. & Farahnaki, M., 2017. Evaluation of Livability of Songhor City Neighborhoods Using TOPSIS Model. *Palma Journal*, 16(3), pp. 175-184.
- Akin, D. & Kara, D., 2020. Multicriteria analysis of planned intercity bus terminals in the metropolitan city of Istanbul, Turkey. *Transportation Research Part A*, Volume 132, pp. 465-489.
- Aksa, S. K., Adisasmita, S. A., Ramli, M. I. & Aly, H. S., 2020. Distribution Intensity Model of Retail Logistics Outlets in Metropolitan Scale Cities Based on Spatial Structures. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Volume 15, pp. 283-290.
- Aljohani, K. & Thompson, R. G., 2016. Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: Taxonomy and review of literature. *Journal of Transport Geography*, Volume 57, pp. 255-263.
- Allen, K., Anderson, S., Browne, M. & Jones, P., 2000. *A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows: summary report*, Londres, Inglaterra: s.n.
- Ambrosino, G., 2015. *Guidelines: Developing and implementing a sustainable urban logistics plan..* [Online] Available at: http://www.enclose.eu/upload_en/file/deliverables/ENCLOSE_D5_2_SULP%20methodology_final%20version.pdf [Acesso em 28 Maio 2020].
- Amin, A. & Thrift, N., 1992. Neo-Marshallian Nodes in Global Networks. *International journal of urban and regional research*, 16(4), pp. 571-587.
- Anderson, A., Allen, J. & Browne, M., 2005. *Journal of Transport Geography*, Volume 13, pp. 71-81.
- Andrade, L. T., 2016. METROPOLITAN SPACE IN BRAZIL: a new spatial order?. *Caderno CRH*, 29(76).
- Andreoli, D., Goodchild, A. & Vitasek, K., 2010. the rise of mega distribution centers and the impact on logistical uncertainty. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, Volume 2, pp. 75-88.
- Anselin, L., 1995. Local Incators of Spatial Association - LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), pp. 93-125.
- Antún, J. P. et al., 2010. The physical distribution of goods in a megalopolis: Strategies for policies on the location of logistics facilities within the Central Region of Mexico. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 2, pp. 6130-6140.
- Arabsheibani, R., Sadat, Y. K. & Abedini, A., 2016. Land Suitability Assessment for Locating Industrial Parks: a Hybrid Multi Criteria Decision-Making Approach Using Geographical Information System. *Geographical Research*.
- Arbanas, M., 2017. Landslide Hazard, Risk Assessment and Prediction: Landslide Inventories and Susceptibility, Hazard Mapping Methods, Damage Potential—Part 2. *Advancing Culture of Living with Landslides*, pp. 695-698.
- Awasthi, A., Chauha, S. S. & Goyal, S. K., 2011. A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 53, pp. 98-109.
- Bacarense, L. S. F. P., Oliveira, L. K. & Pedroso, F. F., 2015. Estimate Freight Flows with Secondary Data: A Study in Belo Horizonte City, Brazil. *Liveable Cities*, pp. 157-160.

- Ballantyne, E. E. F., Lindholm, M. & Whiteing, A., 2013. A comparative study of urban freight transport planning: addressing stakeholder needs. *Journal of Transport Geography*, Volume 32, pp. 93-101.
- Bathlet, H., Malmberg, A. & Maskell, P., 2004. Clusters and Knowledge: Local buzz, Global Pipelines and the Process of Knowledge Creation. *Progress in human geography*, 28(1), pp. 31-56.
- Beiler, M. R. O. & Treat, C., 2014. Integrating GIS and AHP to Prioritize Transportation Infrastructure Using Sustainability Metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(3), p. 04014053.
- Bivina, G. R. & Parida, M., 2020. Prioritizing pedestrian needs using a multi-criteria decision approach for a sustainable built environment in the Indian context. *Environment, Development and Sustainability*, Volume 22, pp. 4929-4950.
- Bowen Jr, J. T., 2008. Moving places: the geography of warehousing in the US. *Journal of Transport Geography*, 16(6), pp. 379-387.
- Brasil, 1973. *Lei Complementar nº 14, de 8 de Junho de 1973*. [Online] Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp14.htm [Acesso em 18 Maio 2020].
- Brasil, 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. [Online] Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm [Acesso em 3 Julho 2020].
- Brasil, 2001. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001*. [Online] Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm [Acesso em 25 Maio 2020].
- Brasil, 2008. [Online] Available at: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> [Acesso em 20 April 2020].
- Brasil, 2015. *Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros / editores: Marco Aurélio Costa, Bárbara Oliveira Marguti*, Brasília: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Brasil, 2017. [Online] Available at: <http://www.infraestrutura.gov.br> [Acesso em 20 April 2020].
- Campos, P. R., 2009. *O Município de Ribeirão das Neves: Um "Bairro Popular" em um Centro Metropolitano*, Belo Horizonte: s.n.
- Carli, R., Dotoli, M. & Pellegrino, R., 2017. A hierarchical decision-making strategy for the energy management of smart cities. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 14(2), pp. 505-523.
- Carli, R., Dotoli, M. & Pellegrino, R., 2018. Multi-criteria decision-making for sustainable metropolitan cities assessment. *Journal of Environmental Management*, Volume 226, pp. 46-61.
- Carotenuto, F. et al., 2017. A new statistical approach for landslile susceptibility assesment in the urban area of Napoli.
- Chakraborty, S. & Chakraborty, A., 2018. Application of TODIM (TOmada de Decisao Interativa Multicriterio) method for under-construction housing project selection in Kolkata. *Journal of Project Managemen*, Volume 3, pp. 207-216.
- Chatterjee, S. & Hadi, A. S., 2006. Analysis of Collinear Data. Em: *Regression Analysis by Example*. 4ª Edição ed. s.l.:John Wiley & Sons, Inc, pp. 221-258.

- Chen, S., Tan, J., Claramunt, C. & Ray, C., 2011. Multi-scale and multi-modal GIS-T data model. *Journal of Transport Geography*, 19(1), pp. 147-161.
- Chen, W., Shen, Y., Wang, Y. & Wu, Q., 2018. How do industrial land price variations affect industrial diffusion? Evidence from a spatial analysis of China. *Land Use Policy*, Volume 71, pp. 384-394.
- Cidell, J., 2011. Distribution Centers among the Rooftops: The Global Logistics Network Meets the Suburban Spatial Imaginary. *International Journal of Urban and Regional Research*, 35(4), pp. 832-851.
- Convertino, M., Troccoli, A. & Catani, F., 2013. Detecting fingerprints of landslide drivers: A MaxEnt model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(3), pp. 1367-1386.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A. & Antunes, C. H., 2011. A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, Junho, 51(3), pp. 720-726.
- Crainic, T. G. & Laporte, G., 1997. Planning Models for Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*, 97(3), pp. 409-438.
- Dablanc, L., 2007. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), pp. 280-285.
- Dablanc, L., 2009. *Freight Transport for Development Toolkit: Urban Freight..* [Online] Available at: <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1239112757744/5997693-1266940498535/urban.pdf> [Acesso em 30 Abril 2019].
- Dablanc, L., Giuliano, G., Holliday, K. & O'Brien, T., 2013. Best practices in urban freight management: Lessons from an international survey. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2379, pp. 29-38.
- Dablanc, L., Ogilvie, S. & Goodchild, A., 2014. Logistics Sprawl: Differential Warehousing Development Patterns in Los Angeles and Seattle. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2410, pp. 105-112.
- Dablanc, L. & Rakotonarivo, D., 2010. The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it?. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 2, pp. 6087-6069.
- Dablanc, L. & Ross, C., 2012. Atlanta: a mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion (PAM). *Journal of Transport Geography*, Volume 24, pp. 432-442.
- Dablanc, L. et al., 2018. *CITYLAB Deliverable 2.1, Observatory of strategic developments impacting urban logistics (2018 version)*, s.l.: IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports de l'Aménagement et des Réseaux.
- Davidovich, F., 2003. Diferenciação da espacialidade da metrópole no Brasil: referências para a gestão. *Cadernos Metrópole*, Volume 9, pp. 135-163.
- Delmelle, E. M., Li, S. & Murray, A. T., 2012. Identifying bus stop redundancy: A gis-based spatial optimization approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(5), pp. 445-455.
- Diziain, D., Ripert, C. & Dablanc, L., 2012. How can we bring logistics back into cities? The case of Paris metropolitan area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 39, pp. 267-281.
- Dormann, C. F. et al., 2012. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), pp. 27-46.

- Dudík, M., Philips, S. J. & Schapire, R. E., 2007. Maximum Entropy Density Estimation with Generalized Regularization and an Application to Species Distribution Modeling. *Journal of Machine Learning Research*, Volume 8, pp. 1217-1260.
- Duflot, R., Avon, C., Roche, P. & Bergès, L., 2018. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: An applied methodological framework and a species case study. *Journal for Nature Conservation*, Volume 46, pp. 38-47.
- Eilith, J. et al., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2).
- Eilith, J. et al., 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), pp. 43-57.
- Eilith, J. et al., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, Volume 17, pp. 43-57.
- Eldeeb, G., Elmitiny, N., Darwish, G. & Idris, A. O., 2018. *Integrated spatial multi-criteria decision-making approach to bus transit planning*. Washington DC, Estados Unidos, s.n.
- Ellis, R. S., 2000. *Entropy, Large Deviations and Statistical Mechanics*. Berlin: Springer.
- Essaadi, I., Graboy, B. & Fénies, P., 2016. Location of logistics hubs at national and subnational level with consideration of the structure of the local choice. *IFAC - Papers OnLine*, Volume 19-31, pp. 155-160.
- Faria, C. A. P., 2012. Explicando o inchaço da Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista do Observatório do Milênio de Belo Horizonte*, Volume 3, pp. 39-59.
- Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S. & Ahmad, F., 2019. Multicriteria Evaluation of Transport Plan for High-Speed Rail: An Application to Beijing-Xiongan. *Building Mathematical Models for Multicriteria and Multiobjective Applications*, pp. 1-23.
- Ferreira Jr, J. I., Nóbrega, R. A. A. & Oliveira, L. K., 2016. Modelagem de dados geográficos para a definição de corredores alternativos para o Rodoanel da Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista do Tribunal de Contas da União*, Volume 137, pp. 1-10.
- FHWA, 2009. *Urban Freight Case Studies: Orlando*. [Online] Available at: <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop10021/fhwahop10021.pdf> [Acesso em 13 Dezembro 2020].
- FHWA, 2012. *FHWA Freight and Land Use Handbook*. [Online] Available at: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop12006/fhwahop12006.pdf> [Acesso em 12 Dezembro 2020].
- Foda, M. A. & Osman, A. O., 2010. Using GIS for Measuring Transit Stop Accessibility Considering Actual Pedestrian Road Network. *Journal of Public Transportation*, 13(4), pp. 23-40.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J. & Latorre, M., 2012. Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. *Applied Geography*, Volume 35, pp. 235-246.
- Gaucherel, C. et al., 2016. Spatial analysis of endemism to redefine conservation areas in Western Ghats (India). *Journal for Nature Conservation*, Volume 34, pp. 33-41.
- Gehl, J., 2010. *Cities for People*. 1ª Edição ed. s.l.:Island Press.
- Giuliano, G. & Kang, S., 2018. Spatial dynamics of the logistics industry: Evidence from California. *Journal of Transport Geography*, Volume 66, pp. 248-258.

- Graham, C. H. et al., 2007. The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 45(1), pp. 239-247.
- Gray, M., 2017. *The influence of land use and habitat fragmentation on landscape connectivity*, Berkley: s.n.
- Guerrero, D. & Proulhac, L., 2014. Vingt-cinq ans de périurbanisation logistique. *Reflets et Perspectives*, Volume LIII, pp. 31-43.
- Halvorsen, R., 2012. A gradient analytic perspective on distribution modelling. *Sommerfeltia*, 35(1), pp. 1-165.
- Halvorsen, R., 2013. A strict maximum likelihood explanation of MaxEnt, and some implications for distribution modelling. *Sommerfeltia*, 36(1), pp. 1-132.
- Hansen, W. G., 1956. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), pp. 73-76.
- Heitz, A. & Dablanc, L., 2015. Logistics Spatial Patterns in Paris: Rise of Paris Basin as Logistics Megaregion. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2477(1), pp. 76-84.
- Heitz, A. et al., 2018. Spatial patterns of logistics facilities in Gothenburg, Sweden. *Journal of Transportation Geography*.
- He, M., Shen, J., Wu, X. & Luo, J., 2018. Logistics Space: A Literature Review from the Sustainability Perspective. *Sustainability*, Volume 10, pp. 1-24.
- Hernandez, P. A. et al., 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodivers Conserv*, 17(6), pp. 1353-1366.
- Hesse, M., 2006. Global Chain, Local Pain: Regional Implications of Global Distribution Networks in the German North Range. *Growth and Change*, 37(4), pp. 579-596.
- Hesse, M., 2008. *The city as a terminal*. 1^a Edição ed. Londres: Routledge.
- Hesse, M. & Rodrigue, J. P., 2004. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12(3), pp. 171-184.
- Hijmans, R. J., 2012. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology*, 93(3), pp. 679-688.
- Hilmola, O.-P. & Lorentz, H., 2011. Warehousing in Northern Europe: longitudinal survey findings. *Industrial Management & Data Systems*, 111(3), pp. 320-340.
- Holguín-Veras, J., Cruz, C. A. T. & Ban, X., 2011. On the comparative performance of urban delivery vehicle classes. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9(1), pp. 50-73.
- Holguín-Veras, J. & Jaller, M., 2014. Comprehensive Freight Demand Data Collection Framework for Large Urban Area. Em: *EcoProduction (Environmental Issues in Logistics and Manufacturing)*. Berlin(Heidelberg): Springer.
- Hong, J., Chu, Z. & Wang, Q., 2011. Transport infrastructure and regional economic growth: evidence from China. *Transportation*, 38(5), pp. 737-752.
- Hou, Q. & Li, S.-m., 2011. Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990–2020. *Journal of Transport Geography*, 19(6), pp. 1350-1360.

- Ibirité, 2020. *História de Ibirité*. [Online] Available at: <https://www.camaraibirite.mg.gov.br/historia-de-ibirite> [Acesso em 20 Dezembro 2020].
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), s.d. [Online] Available at: <https://cidades.ibge.gov.br> [Acesso em 25 March 2020].
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020. *Perfil - RM Belo Horizonte*. [Online] Available at: <http://brasilmetropolitano.ipea.gov.br> [Acesso em 18 Maio 2020].
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A. & Schönberger, J., 2019. *Global Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value*. 2ª Edição ed. s.l.:Springer.
- Jakubicek, P. & Woudsma, C., 2011. Proximity, land, labor and planning? Logistics industry perspectives on facility location. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, Volume 2, pp. 161-173.
- Jaller, M., Pineda, L. & Phong, D., 2017. Spatial Analysis of Warehouses and Distribution Centers in Southern California. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2610, pp. 44-53.
- Jaynes, E. T., 1957. Physical Review. *Information Theory and Statistical Mechanics*, 106(4), p. 620–630.
- Jaynes, E. T., 1978. *Where do we stand on Maximum Entropy?*. Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology.
- Jaynes, E. T., 1982. On the rationale of maximum-entropy methods. *Proceedings of the IEEE*, 70(9), p. 939–952.
- Jiménez-Valverde, A., 2011. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), pp. 498-507.
- Jorgensen Jr, P., 2013. *Grandes Projetos Urbanos: a construção de Belo Horizonte*. [Online] Available at: <http://abeiradourbanismo.blogspot.com/2013/11/pequeno-inventario-de-grandes-projetos.html> [Acesso em 13 Julho 2020].
- Kalnay, E. & Cai, M., 2003. Published: 29 May 2003 Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, Volume 423, pp. 528-531.
- Kang, S., 2018a. Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA. *Journal of Transport Geography*.
- Kang, S., 2018b. Why do warehouses decentralize more in certain metropolitan areas?. *Journal of Transport Geography*.
- Kang, S., 2020. Relative logistics sprawl: Measuring changes in the relative distribution from warehouses to logistics businesses and the general population. *Journal of Transport Geography*, Volume 83, p. 102636.
- Kapur, J. N. & Kesavan, H. K., 1992. Entropy Optimization Principles and Their Applications. Em: F. M. Singh V.P., ed. *Entropy and Energy Dissipation in Water Resources*. *Water Science and Technology Library*. s.l.:Springer, Dordrecht, pp. 3-20.
- Karleuša, B., Dragičević, N. & Deluka-Tibljaš, A., 2013. Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. 65(7), pp. 619-631.

- Kerekes, A.-H., Poszet, S. L. & Gál, A., 2018. Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj–Napoca Municipality, Romania. *Revista de Geomorfologie*, Volume 20, pp. 130-146.
- Kiba-Janiak, M., 2019. *Logistics: In the cities' development strategies*. s.l.:Publishing House of Wrocław University of Economics.
- Kim, G., Kang, W., Park, C. R. & Lee, D., 2018. Factors of spatial distribution of Korean village groves and relevance to landscape conservation. *Landscape and Urban Planning*, Volume 176, pp. 30-37.
- Kim, H. M. & Han, S. S., 2012. City profile: Seoul. *Cities*, 29(2), pp. 142-154.
- Ko, J., 2005. *Solving a distribution facility location problem using analytic hierarchy process approach*. Honolulu, Hawai, s.n.
- Kornejady, A., Ownegh, M. & Bahremand, A., 2017. Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*, Volume 152, pp. 144-162.
- Kudláčková, N. & Chocholáč, J., 2017. Warehouse Location Problem in Context of Delivery Time Shortening. *MATEC Web of Conferences*, Volume 134, p. 0029.
- Le Sage, J. & Pace, R. K., 2009. *Introduction to Spatial Econometrics*. s.l.:CRC Press Taylor & Francis Group.
- Leon, M. B., Nóbrega, R. A. A. & Costa, W. L. S., 2020. Una perspectiva ambiental en el planeamiento de la Ferrovía Bioceánica: Modelamiento cuantitativo de escenarios. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, Volume 11, pp. 444-468.
- Li, G. et al., 2017. Location characteristics and differentiation mechanism of logistics nodes and logistics enterprises based on points of interest (POI): A case study of Beijing. *Journal of Geographical Sciences* volume, Volume 27, pp. 879-896.
- Lima Jr, O. F. & Oliveira, L. K., 2013. *O estágio atual da logística urbana brasileira*, s.l.: Banco Interamericano de Desenvolvimento.
- Lindholm, M., 2012. How local authority decision makers address freight transport in the urban area. *Procedia –Social and Behavioral Sciences*, Volume 39, pp. 134-145.
- Lindholm, M., 2013. Urban freight transport from a local authority perspective –a literature review. *European Transport*, 54(3), pp. 1-37.
- Lindholm, M. & Behrends, S., 2012. Challenges in urban freight transport planning – a review in the Baltic Sea Region. *Journal of Transport Geography*, Volume 22, pp. 129-136.
- Liu, F., Aiwu, G., Lukovac, V. & Vukic, M., 2018. A multicriteria model for the selection of the transport service provider: A single valued neutrosophic DEMATEL multicriteria model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(2), pp. 121-130.
- Li, Y. et al., 2016. Assessing spatial vulnerability from rapid urbanization to inform coastal urban regional planning. *Ocean & Coastal Management*, Volume 123, pp. 53-65.
- McKinnon, A., 2009. The present and future land requirements of logistical activities. *Land Use Policy*, 26(1), pp. 203-391.
- Medley, K. A., 2009. Niche shifts during the global invasion of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus* Skuse (Culicidae), revealed by reciprocal distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), pp. 122-133.
- Meliciani, V. & Peracchi, F., 2006. Convergence in per-capita GDP across European regions: a reappraisal. *Empirical Economics*, 31(3), pp. 549-568.

- Merriw, C., Smith, M. J. & Silander Jr, J. A., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), pp. 1058-1069.
- Minas Gerais, 1986. *A estrutura urbana da RMBH: Prognóstico v.3*, Belo Horizonte: PLAMBEL.
- Minas Gerais, 1989. *Legislação Mineira*. [Online] Available at: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=Con&num=1989&ano=1989> [Acesso em 13 Maio 2020].
- Minas Gerais, 2006a. *Lei Complementar nº 88, de 12 de Janeiro de 2006*. [Online] Available at: <https://leisestaduais.com.br/mg/lei-complementar-n-88-2006-minas-gerais-dispoe-sobre-a-instituicao-e-a-gestao-de-regiao-metropolitana-e-sobre-o-fundo-de-desenvolvimento-metropolitano> [Acesso em 13 Maio 2020].
- Minas Gerais, 2006b. *Lei Complementar 89, de 12/01/2006*. [Online] Available at: https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?num=89&ano=2006&tipo=LCP&aba=js_textoAtualizado [Acesso em 13 Maio 2020].
- Minas Gerais, 2009. [Online] Available at: <http://www.rmbh.org.br/central-cartog.php> [Acesso em 15 January 2020].
- Minas Gerais, 2020a. *Macrozoneamento Metropolitano - RMBH*. [Online] Available at: <http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/macrozoneamento-mapa/> [Acesso em 01 Dezembro 2020].
- Minas Gerais, 2020b. *Projeto de Lei Complementar 74 2017*. [Online] Available at: https://www.almg.gov.br/atividade_parlamentar/tramitacao_projetos/interna.html?a=2017&n=74&t=P_LC&aba=js_tabComentario [Acesso em 20 Outubro 2020].
- Mobley, W., 2019. Effects of changing development patterns and ignition locations within Central Texas. *PLoS ONE*, 14(2), pp. 1-18.
- Molina, J. R., Lora, A., Prades, C. & Silva, F. R., 2019. Roadside vegetation planning and conservation: New approach to prevent and mitigate wildfires based on fire ignition potential. *Forest Ecology and Management*, Volume 444, pp. 163-173.
- Mosteller, F. & Tukey, J. W., 1977. *Data Analysis and Regression: a second course in statistics*. 1ª Edição ed. s.l.:Pearson.
- Muñuzuri, J., Larrañeta, J., Onieva, L. & Cortés, P., 2005. Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. *Cities*, 22(1), pp. 15-22.
- Naimi, B., 2017. *usdm: Uncertainty Analysis for Species Distribution Models*. [Online] Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=usdm> [Acesso em 27 Agosto 2020].
- Naimi, B., Bivand, R., Venables, W. & Ripley, B., 2020. [Online] Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=elsa> [Acesso em 20 July 2020].
- Naimi, B. et al., 2019. ELSA: Entropy-based local indicator of spatial association. *Spatial Statistics*, Volume 29, pp. 66-88.

- Neirotti, P. et al., 2014. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, Volume 38, pp. 25-36.
- Ng, C. P., Law, T. H., Wong, S. V. & Kulanthayan, S., 2017. Relative improvements in road mobility as compared to improvements in road accessibility and economic growth: A cross-country analysis. *Transport Policy*, Volume 60, pp. 24-33.
- Nijkamp, P., Rietveld, P. & Voogd, H., 1990. *Multicriteria Evaluation in Physical Planning*. 1 ed. s.l.:Northon-Holland.
- Niven, R. K., 2009. Combinatorial entropies and statistics. *The European Physical Journal B*, 70(1), pp. 49-63.
- Nourqolipour, R. et al., 2016. Predicting the Effects of Urban Development on Land Transition and Spatial Patterns of Land Use in Western Peninsular Malaysia. *Applied Spatial Analysis and Policy*, Volume 9, pp. 1-19.
- Nova Lima, 2020. *História da Cidade*. [Online] Available at: <https://novalima.mg.gov.br/historia-da-cidade> [Acesso em 12 Dezembro 2020].
- Nóbrega, R. A. A. et al., 2016. Inteligência geográfica para avaliação de propostas de projeto de concessão de corredores ferroviários. *Transportes*, Volume 24, pp. 75-84.
- Odgen, K. W., 1992. *Urban Goods Movement: A Guide to Policy and Planning*. Londres: Ash-gate Publishing Ltd.
- Oliveira, L. K. et al., 2019. Challenges to urban freight transport in historical cities: a case study for Sabará (Brazil). *Transportation Research Procedia*, Volume 39, pp. 370-380.
- Oliveira, L. K. et al., 2017. Análise do espraiamento logístico: um estudo para a região metropolitana de Belo Horizonte. *Transportes*, 25(4), pp. 42-56.
- OpenStreetMap Foundation, s.d. [Online] Available at: [OpenStreetMap Foundation](https://openstreetmap.org) [Acesso em 20 June 2020].
- Orea, D. G., 2002. *Ordenación Territorial*. s.l.:Ediciones Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A..
- Owen, S. H. & Daskin, M. S., 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, Volume 111, pp. 423-447.
- Padgham, M. et al., 2020. [Online] Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=osmdata> [Acesso em 20 July 2020].
- Palevičius, V., Burinskienė, M., Antucheviciene, J. & Šaparauskas, J., 2019. Comparative Study of Urban Area Growth: Determining the Key Criteria of Inner Urban Development. *Symmetry*, 11(3), p. 406.
- Pearson, R. G., Christopher, R. J., Nakamura, M. & Peterson, T. A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, Volume 34, pp. 102-117.
- Pebesma, E. et al., 2020. [Online] Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=sf> [Accessed 20 July 2020].
- Pecqueur, B., 2009. A guinada territorial da economia global. *Política & Sociedade*, 8(14), pp. 70-106.

- Pereira, M. L. D. & Brasil, F. P. D., 2009. Metropolitan Governance and It's challenges: an analysis of the new governance system in the RMBH.
- Peterson, A. T., 2006. uses and requirements of ecological niche models and related distribution models. *Biodiversity Informatics*, Volume 3, pp. 59-72.
- Petkar, A. S. & Macwan, J. E. M., 2016. Identifying urban zonal preferences: planners' perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*.
- Philips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, Volume 190, pp. 231-259.
- Philips, S. J. & Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), pp. 161-175.
- Philips, S. J., Dudík, M. & Schapire, R. E., 2020. [Online] Available at: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ [Acesso em 20 May 2020].
- Pielke, R. A., 2005. Land Use and Climate Change. *Science*, 310(5754), pp. 1625-1626.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2010. *O que é o IDHM*. [Online] Available at: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-que-e-o-idhm.html> [Acesso em 18 Maio 2020].
- Pradhan, A. M. S., Lee, J.-M. & Kim, Y.-T., 2019. Semi-quantitative method to identify the vulnerable areas in terms of building aggregation for probable landslide runout at the regional scale: a case study from Soacha Province, Colombia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 78, pp. 5745-5762.
- Préau, C., Trochet, A., Bertrand, R. & Isselin-Nondedeu, F., 2018. Modeling potential distributions of the European amphibian species comparing ENFA and MaxEnt. *Herpetological Conservation and Biology*, 13(1), pp. 91-104.
- Quak, H., 2008. *Sustainability of Urban Freight Transport: Retail Distribution and Local Regulations in Cities*, Roterdã, Holanda: Erasmus Research Institute of Management (ERIM).
- Quak, H. K. & de Koster, R. M., 2009. Delivering goods in urban areas: How to deal with urban policy restrictions and environment. *Transportation Science*, 43(2), pp. 211-227.
- R Core Team, 2013. [Online] Available at: <http://www.R-project.org/> [Acesso em 2020 July 2020].
- Rhodes, S. S. et al., 2012. *Guidebook for Understanding Urban Goods Movement*. Washington: TRB.
- Rivera, L., Sheffi, Y. & Knoppen, D., 2016. Logistics clusters: The impact of further agglomeration, training and firm size on collaboration and value added services. *International Journal of Production Economics*, Volume 179, pp. 285-294.
- Rossi, J. P., Kadaouré, I., Fodefroid, M. & Dibigny, G., 2018. Landscape epidemiology in urban environments: The example of rodent-borne Trypanosoma in Niamey, Niger. *Infrastructure, Genetics and Evolution*, Volume 63, pp. 307-315.
- Sakai, T., Kawamura, K. & Hyodo, T., 2016. Logistics Facility Distribution in Tokyo Metropolitan Area: Experiences and Policy Lessons. *Transportation Research Procedia*, Volume 12, pp. 263-277.
- Sanfelici, D., 2016. A centralidade das aglomerações metropolitanas na economia globalizada: fundamentos econômicos e possibilidades políticas. *Caderno Metrópolis*, 18(37), pp. 623-646.

- Santa Luzia, 2020. *História do Município*. [Online] Available at: <https://www.cmsantaluzia.mg.gov.br/pagina/ler/1000/historia> [Acesso em 2020 Dezembro 2020].
- Sassen, S., 2000. The global city: strategic site/new frontier. *American Studies*, Volume 41, pp. 79-95.
- Scott, A. J., 1998. *Metropolis: from the division of labor to urban form*. 1ª Edição ed. s.l.:University of California Press.
- Scott, A. & Storper, M., 2003. Regions, Globalization, Development. *Regional Studies*, Volume 37, pp. 579-593.
- Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Thecnical Journal*, 27(3), pp. 379-423.
- Shiple, B., 2010. Community assembly, natural selection and maximum entropy models. *Oikos*, 119(4), pp. 604-609.
- Shu, B. et al., 2017. Modeling urban expansion by using variableweights logistic cellular automata: a case study ofNanjing, China. *International Journal of Geographical InformationScience*, pp. 1-20.
- Soja, E. W., 2013. Para além de posmetropolis. *Revista UFMG*, 20(1), pp. 136-167.
- Sousa, L. T. M. d. & Oliveira, L. K., 2020. Influence of Characteristics of Metropolitan Areas on the Logistics Sprawl: A Case Study for Metropolitan Areas of the State of Paraná (Brazil). *Sustainability*, 22(12), p. 9799.
- Stas, M. et al., 2020. An evaluation of species distribution models to estimate tree diversity atgenus level in a heterogeneous urban-rural landscape. *Landscape and Urban Planning*, Volume 198, p. 103770.
- Stich, B., Holland, J. H., Nóbrega, R. A. A. & O'Hara, C., 2011. Using multi-criteria decision making to highlight stakeholders values in the corridor planning process. *Journal of Transport and Land Use*, Volume 4, pp. 105-118.
- Strale, M., 2019. Logistics sprawl in the Brussels metropolitan area: Toward a socio-geographic typology. *Journal of Transport Geography*, p. 102372.
- Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M., 2015. City Logistics: Status and Trends. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(3), pp. 319-343.
- Tan, J., Li, A., Lei, G. & Xie, X., 2019. A SD-MaxEnt-CA model for simulating the landscape dynamic of natural ecosystem by considering socio-economic and natural impacts. *Ecological Modelling*, Volume 410, p. 108783.
- Thompson, E. C., Miller, J. & Roenker, J., 2001. *The Impact of a New Bypass Route on the Local Economy and Quality of Life*, Lexington, Kentucky: University of Kentucky.
- Thuiller, W., 2004. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10(12), pp. 2020-2017.
- Tibshirani, R., 1996. Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 58(1), pp. 267-288.
- Tonucci Filho, J. B. M., 2012. *Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PLAMBEL e do PDDI-RMBH*, São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Triantakontantis, D., 2011. Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions. *Journal of Geographic Information System*, 4(6), pp. 555-587.
- Tricoire, F. & Parragh, S. N., 2017. Investing in logistics facilities today to reduce routing emissions tomorrow. *Transportation Research Part B*, Volume 103, pp. 56-67.

- Tsamboulas, D., Yiotis, G. S. & Panou, K. D., 1999. Use of Multicriteria Methods for Assessment of Transport Projects. *TECHNICAL PAPERS*, 125(5), pp. 407-414.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN), 2019. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*, New York: United Nations.
- van der Hauvel, F. P., de Langen, P. W., van Donselaar, K. H. & Fransoo, J. C., 2013. Regional logistics land allocation policies: Stimulating spatial concentration of logistics firms. *Transport Policy*, Volume 30, pp. 275-282.
- Villaça, F., 2001. *Espaço intra-urbano no Brasil*. 2ª Edição ed. São Paulo: AMPUB Comercial Ltda.
- Wagner, T., 2010. Regional traffic impacts of logistics-related land use. *Transport Policy*, Volume 17, pp. 224-229.
- Waldrip, S. H., Niven, R. K., Abel, M. & Schlegel, M., 2017. Maximum entropy analysis of transport networks. *AIP Conference Proceedings*, Volume 1853, p. 070003.
- Wang, H. et al., 2019a. Using a maximum entropy model to optimize the stochastic component of urban cellular automata models. *International Journal of Geographical Information Science*, pp. 1-23.
- Wang, Z., Zhang, B., Zhang, X. & Tian, H., 2019b. Using MaxEnt Model to Guide Marsh Conservation in the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, Volume 29, pp. 962-973.
- Washburn, D. & Sindhu, U., 2010. *Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives*. [Online] Available at: https://s3-us-west-2.amazonaws.com/itworldcanada/archive/Themes/Hubs/Brainstorm/forrester_help_cios_smart_city.pdf [Acesso em 30 Abril 2020].
- Wei, H.-H., Liu, M., Skibniewski, M. J. & Balali, V., 2016. Prioritizing Sustainable Transport Projects through Multicriteria Group Decision Making: Case Study of Tianjin Binhai New Area, China. *Journal of Management in Engineering*, 32(5), p. 04016010.
- Wey, W. M. & Wei, W. L., 2016. Urban Street Environment Design for Quality of Urban Life. *Social Indicators Research*, Volume 126, pp. 161-186.
- Wickham, H., 2019. [Online] Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse> [Acesso em 20 July 2020].
- Wiley, E. O. et al., s.d. Niche Modeling Perspective on Geographic Range Predictions in the Marine Environment Using a Machine-learning Algorithm. *Oceanography*, 2015, 16(3), pp. 102-127.
- Williams, K. M. & Carrol, A., 2015. *Integrating Freight into Livable Communities*, Portland: NITC-RR-752. Portland, OR: Transportation Research and Education Center (TREC),.
- Wisn, M. S. et al., 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14(5), pp. 763-773.
- Woudsma, C., 2001. Understanding the Movement of Goods, Not People: Issues, Evidence and Potential. *Urban Studies*, 38(13), pp. 2439-2455.
- Woudsma, C. & Jensen, J. F., 2005. Freight: Transportation and Land Use—Exploring Spatial-Temporal Dimensions. Em: D. a. K. K. Levinson, ed. *Access to Destinations*. s.l.: Emerald Group Publishing Limited, pp. 267-295.
- Woudsma, C., Jakubicek, P. & Dablanc, L., 2016. Logistics sprawl in North America: methodological issues and a case study in Toronto. *Transportation Research Procedia*, Volume 12, pp. 474-488.

- Wu, F. & Webster, C. J., 1998. Simulation of Land Development through the Integration of Cellular Automata and Multicriteria Evaluation. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 25(1), pp. 103-126.
- Xu, F., Yuan, J. & Jiang, C., 2011. *Dynamic Transport Routing Planning in Logistics of Sports Tour Resource Based on MAS and GIS*. Chengdu, China, s.n., pp. 2274-2279.
- Young, N., Carter, L. & Evangelista, P., 2011. *A MaxEnt Model v3.3.3e Tutorial (ArcGIS v10)*. [Online] Available at: http://ibis.colostate.edu/webcontent/ws/coloradoview/tutorialsdownloads/a_maxent_model_v7.pdf [Acesso em 2 April 2020].
- Yuan, Q., 2018. Environmental Justice in Warehousing Location: State of the Art. *Journal of Planning Literature*, Volume 2.
- Yuan, S. et al., 2017. Maximum Entropy-Based Model of High-Threat Landslide Disaster Distribution in Zhaoqing, China. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 7(3), pp. 108-126.
- Zhang, Y., Liu, X., Chen, G. & Hu, G., 2020. Simulation of urban expansion based on cellular automata and maximum entropy model. *Science China Earth Sciences*, Issue 63, pp. 701-712.
- Zinatizadeh, S., Azmi, A., Monavari, S. M. & Sobhanardakani, S., 2017. Evaluation and prediction of sustainability of urban areas: A case study for Kermanshah city, Iran. *Cities*, Volume 66, pp. 1-9.