

Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de planejamento de transportes para Joinville (SC)

Geographical Information Systems as a transport planning tool to Joinville (SC)

Sistemas de Información Geográfica como herramienta de planificación del transporte para Joinville (SC)

German Gregório Monterrosa Ayala Filho

gg.ayala@gmail.com

Simone Becker Lopes

Professora Doutora, UFSC, Brasil.

simone.lopes@ufsc.br



RESUMO

Pesquisadores e planejadores costumam apoiar suas decisões em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). No planejamento de transportes, utiliza-se um segmento particular dos SIG, os Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao Transporte (SIG-T), que, na maior parte, são softwares comerciais. Este estudo objetiva verificar a possibilidade de utilização de um SIG *open source* em análises peculiares ao transporte no município de Joinville (SC). A verificação foi feita por meio da aplicação de rotinas específicas ao planejamento de transporte em ambiente SIG *open source*, sendo que foram utilizados os softwares QGIS e GeoDa com dados reais do município. Foram avaliados parâmetros de acessibilidade espacial para o transporte coletivo e aplicadas rotinas de clusterização de fluxo de veículos, caminho mínimo e geração de viagens para a cidade. Os resultados encontrados mostram que as ferramentas puderam ser aplicadas em diferentes etapas do planejamento de transporte, permitindo discutir futuramente se instrumentos comerciais podem, de fato, levar a resultados mais acertados ou à análises mais aprofundadas, em detrimento aos SIG *open source*.

Palavras-chave: Planejamento de Transportes. Sistemas de Informação Geográfica. SIG *open source*. SIG-T. Planejamento de Mobilidade.

ABSTRACT

Researchers and planners often support their decisions in Geographic Information Systems (GIS). In transportation planning, a particular segment of GIS is used, the Geographic Information Systems applied to Transportation (GIS-T), which are commercial software. This study aims to verify the possibility of using an open source GIS in analyzes peculiar to transport. The verification was done through the application of specific routines to transport planning in an open source GIS environment, using QGIS and GeoDa software with real data from the city of Joinville (SC). Spatial accessibility parameters were evaluated for collective transport and applied routines of clustering of vehicle flow, minimum path and generation of trips to the city. The results show that the tools could be applied at different stages of transport planning, allowing to discuss in the future if commercial instruments can actually lead to better results or to more complete analyzes in detriment of open source GIS.

Keywords: Transport Planning. Geographic Information Systems. Open Source GIS. GIS-T. Mobility Planning.

RESUMEN

*Investigadores y planificadores suelen apoyar sus decisiones en Sistemas de Información Geográfica (SIG). En la planificación de transportes, se utiliza un segmento particular de los SIG, los Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte (SIG-T) que son softwares comerciales. Este estudio tiene como objetivo verificar la posibilidad de utilización de un SIG de código abierto en análisis peculiares al transporte. La verificación fue hecha por medio de la aplicación de rutinas específicas a la planificación de transporte en ambiente SIG *open source*, siendo que se utilizó el software QGIS y GeoDa con datos reales de la ciudad de Joinville (SC). Se evaluaron parámetros de accesibilidad espacial para el transporte colectivo y aplicadas rutinas de clusterización de flujo de vehículos, camino mínimo y generación de viajes a la ciudad. Los resultados encontrados muestran que las herramientas se pueden aplicar en diferentes etapas de la planificación de transporte, permitiendo discutir en el futuro si los instrumentos comerciales pueden llevar a resultados más acertados oa análisis más completos en detrimento de los SIG de código abierto.*

Palabras-clave: Planificación del transporte. Sistemas de Información Geográfica. SIG de código abierto. SIG-T. Planificación de la movilidad.

1. INTRODUÇÃO

Avaliar as necessidades de infraestrutura da população e das empresas operadoras é tarefa do planejamento de transporte, que deve estabelecer a viabilidade do sistema de transporte, explicitando a tecnologia a ser utilizada e o nível de serviço ofertado. A complexidade desta tarefa exige sistemas de informação no processo decisório envolvido no planejamento de transportes (MORLOK, 1978).

Sistemas de informação representam graficamente um sistema de transporte por meio de coordenadas, que podem ser relacionadas com diversas informações através de um banco de dados georreferenciado disponibilizado pela tecnologia SIG, que permite visualizar graficamente a situação presente e avaliar projeções futuras com maior confiabilidade e segurança (TEIXEIRA; BATISTA; SENNE, 2002).

Os SIG-T são uma classe especial dos SIG, que possuem rotinas específicas que permitem sua aplicação no planejamento e operações de transportes. Zuidgeest, Brussel e van Marseveen (2015) afirmam que a utilização de SIG-T está remodelando o modo como planejadores de transporte estão coletando, explorando, sintetizando, avaliando e apresentando seus dados. Segundo os autores, as aplicações utilizando SIG-T se tornaram populares em conferências internacionais de transporte e em publicações de alto nível.

Dentre os softwares SIG-T disponíveis no mercado, o TransCAD tem sido utilizado como referência nos estudos de planejamento de transportes (VAN DER WAERDEN; TIMMERMANS, 1996; SILVA; OLIVEIRA; LIMA, 2011). Ainda que diferente da realidade das prefeituras municipais, O TransCAD é utilizado desde a década de 90 em estudos acadêmicos no mundo inteiro e apresenta resultados satisfatórios como instrumento de apoio à decisão.

Entretanto, o acesso ao TransCAD pode ser oneroso, sendo que o preço da licença anual do software é elevado. Por outro lado, existem SIG *open source* gratuitos, ou seja, os seus códigos-fonte podem ser adaptados para diferentes fins, incluindo rotinas específicas para o estudo de transportes. Teoricamente, tanto o TransCAD, como determinados SIG podem ser utilizados como SIG-T.

Diante do pequeno volume de estudos que busca aplicar ferramentas alternativas às comerciais e tendo em mente que o SIG *open source* pode se tornar uma opção para planejadores com restrições orçamentárias, objetivou-se com este estudo descrever a aplicação dos SIG QGIS e o GeoDa no planejamento de transportes e evidenciar o potencial no uso de ferramentas livre em diversas etapas do planejamento de transportes, tendo como principal justificativa o seu acesso gratuito.

O QGIS foi escolhido como principal de objeto de estudo porque segundo Friedrich (2014), apesar de ser um software relativamente novo, a sua avaliação cartográfica em comparação a softwares como o ArcGIS mostra que, o QGIS o está alcançado rapidamente no quesito funcionalidade. A interoperabilidade do QGIS lidera em detrimento a outros SIG *open source* visto que, possibilita a comunicação com o GRASS GIS, SAGA GIS, Orfeo, OSSIM, R, GDAL/ORG, o que permite a compatibilidade com mais de 200 formatos de dados vetoriais e raster e operações PostgreSQL/PostGIS.

Para comprovar a efetividade do QGIS e GeoDa, os autores escolheram aplicar algumas operações essenciais de um SIG no planejamento de transportes descritas por Waters (1999) e Loid et al. (2016). Optou-se por utilizar dados da cidade de Joinville (SC), por ser uma cidade de médio-porte e com disponibilidade e qualidade suficiente de dados.

O município de Joinville dispõe de produtos cartográficos de alta qualidade da área urbana na escala de 1:1000, disponíveis para consulta pública pelo site do Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIMGeo) (SILIVI JR et al., 2016). A Prefeitura costuma utilizar SIG para estudos de planejamento urbano, possuindo corpo técnico qualificado para incorporar os conhecimentos necessários para utilização de SIG-T, entretanto, atualmente o município dispõe apenas de ferramentas como o ArcGIS e SIG livres, que são disponibilizados gratuitamente sem a necessidade de licenças.

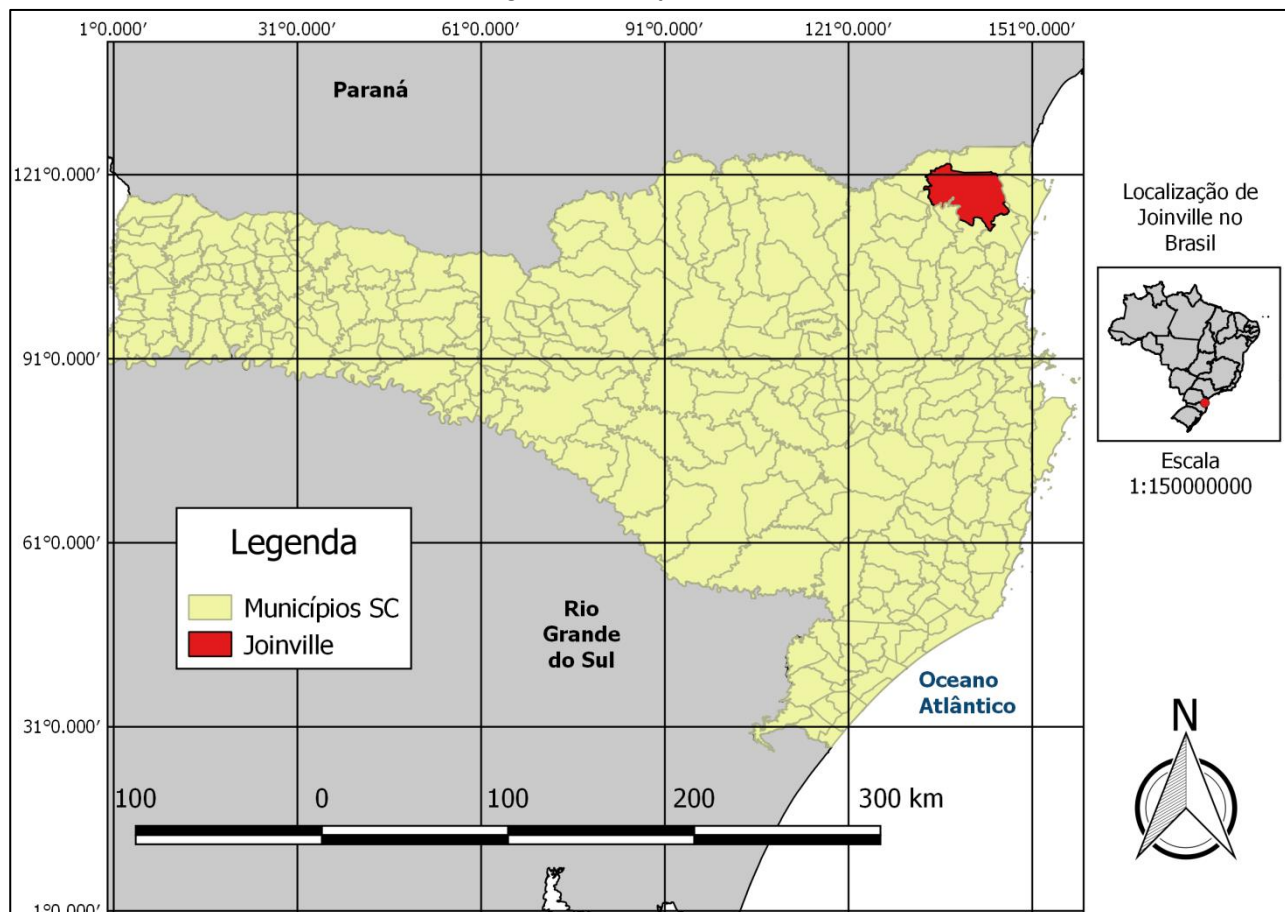
Deseja-se então, demonstrar através deste estudo, como o conceito de SIG-T pode ser incorporado ao planejamento municipal de Joinville e não somente a Joinville, mas também a qualquer município com restrições orçamentárias que disponha de bases cartográficas e dados referentes à deslocamentos urbanos.

1.1. Município de Joinville

Joinville está situada na região nordeste do Estado de Santa Catarina, com população estimada de 569.645 habitantes. Trata-se do município mais populoso de Santa Catarina, terceiro da região Sul e o 3º maior polo industrial da Região Sul do Brasil. A cidade possui um dos mais altos índices de desenvolvimento humano entre os municípios brasileiros (0,809) (IBGE, 2010).

O município possui área de 1126,106 km² e está localizado nas coordenadas 26º 18' 14" S, 48º 50' 45" W pelo sistema geodésico WGS 84. A área urbana de Joinville é de aproximadamente 210,36 km² e a cidade não enfrenta acentuados problemas de congestionamento, exceto em algumas regiões críticas durante o horário de pico. A Figura 1 mostra o município de Joinville e sua localização em relação ao estado de Santa Catarina e ao Brasil.

Figura 1: Localização de Joinville.



2. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Diante da complexidade da tarefa de adequar as necessidades de transporte a uma região, de acordo com suas características estruturais, foram investigados somente alguns itens que compõe a ampla área do planejamento de transportes. Os seguintes itens foram escolhidos:

- A acessibilidade espacial do transporte coletivo;
- Análises de caminhos mínimos;
- Clusterização de fluxo de veículos;
- Aplicação de modelos de previsão de demanda por transporte.

2.1. Acessibilidade espacial do transporte coletivo

A acessibilidade está relacionada com a localização espacial das oportunidades que um indivíduo possui, desde o seu ponto de origem até o seu destino, para realizar uma atividade em particular ou uma série de

atividades. Dessa forma, o nível de acessibilidade é determinado pela oportunidade ou o potencial disponibilizado pelo sistema de transporte e pelo uso do solo (HENRIQUE, 2004).

No caso do transporte coletivo, aquilo que define o nível de sua acessibilidade é a facilidade de chegar ao local de embarque e de sair do local de desembarque até alcançar o destino final. Essa facilidade pode ser quantificada através da distância percorrida pelo usuário até o ponto de ônibus mais próximo (LÜBECK et al., 2011).

Segundo Ferraz e Torres (2004), o transporte coletivo acessível deve possuir uma distância de caminhada no início e no fim da viagem menor do que 300 metros para todos os usuários. Essa distância será a referência para este estudo.

Costa (2008) desenvolveu uma ferramenta para diagnóstico e monitoramento da mobilidade urbana sustentável, denominada de Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). Esse Índice é constituído de uma hierarquia de critérios que agrega 9 domínios, 37 temas e 87 indicadores. O IMUS apresenta ainda escalas de avaliação para cada indicador, sendo um dos indicadores a acessibilidade espacial do transporte coletivo.

Baseado no IMUS preconizado por Costa (2008) e acrescido dos parâmetros de caminhada propostos por Ferraz e Torres (2004), a Tabela 1 foi organizada contendo o tema, indicador, insumos necessários para cálculo do indicador e os seus parâmetros de avaliação.

Tabela 1: Insumos necessários e parâmetros de avaliação para a acessibilidade do transporte coletivo

Tema	Indicador	Dados de Base	Parâmetro de avaliação
Acessibilidade aos sistemas de transporte	Acessibilidade espacial ao transporte público	Base georreferenciada de pontos de ônibus	Distância de caminhada no início e fim da viagem < 300m
		Base georreferenciada do município	
		Base georreferenciada de Setores Censitários	

Fonte: adaptado de Ferraz e Torres (2004) e Costa (2008).

O indicador em Joinville foi obtido pelo número de habitantes residentes na área de cobertura de um ponto de acesso aos serviços de transporte público dividido pela população urbana total da cidade, conforme a Equação 1:

$$I = \frac{\sum_i^N \frac{P_i a_i}{A_i}}{P_T} \quad (1)$$

Sendo que: I = Indicador de acessibilidade espacial;

N = número de setores censitários urbanos do IBGE em Joinville;

P_i = população total do setor censitário i ;

a_i = área do setor censitário i atendida pelo transporte público;

A_i = área total do setor censitário i ;

P_T = população urbana total de Joinville.

O indicador pode variar de 0 a 1, sendo que esses valores podem ser conceituados de acordo com a Tabela 2, utilizada como referência qualitativa para o diagnóstico da acessibilidade espacial do transporte público urbano em Joinville.

Tabela 2: Diagnóstico para acessibilidade espacial a partir do indicador.

Conceito	Intervalo do indicador
Muito bom	0,90 – 1
Bom	0,75 - 0,90
Regular	0,55 - 0,75
Ruim	0,30 - 0,55
Muito ruim	0 - 0,30

Fonte: adaptado de Costa (2008) e Morais (2012)

2.2. Análises de caminhos mínimos

Algoritmos de caminho mínimo devem ser flexíveis para lidar com as circunstâncias do mundo real de forma que, devem ser capazes de armazenar uma variedade de dados para uma rede de tráfego como: número de faixas, capacidade e sentido das vias. Além disso, devem conseguir encontrar o menor caminho entre dois pontos em termos de tempo de viagem e qualquer outro custo que possa ser considerado relevante ao estudo (WATERS, 1999).

2.3. Clusterização

Para resolver problemas de clusterização, foi utilizado um complemento do QGIS que aplica o algoritmo de k-médias. Segundo Wagstaff et al. (2001), a clusterização por k-médias consiste em agrupar n observações em k clusters. Os algoritmos de k-médias selecionam centroides iniciais para cada k e então interagem da seguinte forma:

1. Cada observação n é designada para o cluster que possui o centroide mais próximo.
2. Cada k tem seu centroide atualizado para ser a média das instâncias que o compõe.

O algoritmo então converge quando não existem mais variações nos centroides de cada cluster. Para MacQueen (1967), o método das k-médias normalmente agrupa as observações por meio de distâncias euclidianas medidas em um sistema de coordenadas. Entretanto, neste trabalho foi feita uma clusterização por atributos, isso significa que as n observações estão dispostas em um plano em que cada eixo representa o valor de um atributo.

2.4. Modelos de previsão de demanda

Segundo Waters (1999), um SIG-T deve conter ferramentas que facilitem a aplicação de modelos de previsão de demanda por transporte. Para exemplificar, há o modelo clássico de quatro etapas, composto por etapas de geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e alocação de fluxo (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2011).

O QGIS não executa todas as etapas do modelo de quatro etapas, ou de outro modelo de previsão de demanda, então apenas a geração de viagens pôde ser aplicada. A geração de viagens foi obtida por meio do método de regressões múltiplas com o auxílio do SIG livre GeoDa.

Para este problema, foram concebidos três modelos: um de regressão linear múltipla e dois modelos que incorporam efeitos de dependência espacial nas variáveis. Os modelos que fazem essa incorporação são chamados de Modelo Espacial Auto-Regressivo Misto (*Spatial Lag Model*) e Modelo do Erro Espacial (*Spatial Error Model*) (CÂMARA et al., 2002).

Dentre os três modelos, foram discriminados os valores de Índice de Moran e critério Breusch-Pagan para os resíduos, coeficiente de determinação (R^2), Verossimilhança Logarítmica e Critérios de Aikake e Schwarz. A análise exploratória de dados espaciais, assim como os modelos de regressão e critérios citados estão detalhadamente descritos em Lopes, Brondino e Silva (2006).

De forma sucinta, esses índices e coeficientes objetivam quantificar a qualidade com a qual os modelos de regressão explicam os eventos observados. Para este caso, os eventos são as viagens produzidas e atraídas por cada bairro de Joinville. O R^2 de cada modelo será um dos parâmetros mais importantes, visto que, ele determina com qual significância as variáveis independentes explicam uma variável dependente (neste caso, a geração de viagens). Este coeficiente pode variar de 0 a 1, sendo que 0 representa a insignificância relacional entre as variáveis explicativas e dependente, e 1 quantifica a significância máxima (STEVENSON, 2001).

É importante salientar que modelos de regressão que incorporam variáveis espaciais costumam apresentar melhores resultados (LOPES; BRONDINO; SILVA, 2006). A diferença para os modelos espaciais é que estes inserem novas variáveis explicativas que consideram a distância geográfica entre os eventos observados. Por esse motivo, é indicada a utilização de ferramentas SIG na concepção de modelos de regressão espacial.

3. MÉTODO

3.1. Tratamento dos dados e ferramentas utilizadas

As operações do planejamento de transportes acima referidas foram executadas no QGIS e GeoDa. O trabalho foi realizado quase inteiramente em ambiente SIG, salientando que os SIG utilizados são *open source* com licença livre de distribuição. As versões dos softwares adotadas foram as 2.8.9 do QGIS e 1.8 do GeoDa, que foi utilizado para auxiliar na resolução do problema da previsão de geração de viagens. Utilizou-se também o Microsoft Excel para tratamento de dados da pesquisa origem-destino (OD) de Joinville.

Foram utilizados dados de localização e contagem de veículos registrados nos 32 controladores de tráfego existentes na cidade, dados da pesquisa origem-destino realizada no município em 2010, dados do censo

demográfico de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e bases georreferenciadas disponíveis na plataforma SimGEO da Prefeitura Municipal de Joinville.

Os fluxos de veículos registrados foram medidos do dia 15 (domingo) de maio de 2016 até o dia 21 de maio de 2016 (sábado). Os dados de fluxo foram divididos por dias da semana e em intervalos de 1 hora. A contagem dos veículos foi segmentada em 5 categorias veiculares: pequeno, médio, grande, moto e indeterminado, as quais foram atribuídos peso 1, 2, 3, 0.5 e 2, respectivamente. Esses pesos foram considerados para que se pudesse determinar o volume de tráfego total medido por controlador em unidades de carro de passeio (ucp).

Foi utilizada a pesquisa OD de 2010 encomendada pela Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ) e pela Secretaria de Infra-estrutura Urbana de Joinville (SEINFRA). Os dados da pesquisa foram coletados durante o período de 1 a 30 de março de 2009 pelo método de entrevista domiciliar.

Os domicílios entrevistados da Pesquisa OD se encontram situados em um universo de 34 centralidades de Joinville que foram discriminadas pelo IPPUJ. Essas centralidades estão representadas como áreas circulares em diferentes regiões do município. O tamanho amostral da pesquisa compreende 2397 domicílios.

3.2. Descrição do método

Para o cálculo do indicador da acessibilidade espacial do transporte público urbano, uma camada contendo os setores censitários urbanos da cidade (736) foi marcada, em seguida, os pontos de ônibus de Joinville (1648) foram georreferenciados.

O complemento MMQGIS possibilitou criar uma zona de abrangência (buffer) de 300m para os pontos de ônibus, que foram dissolvidas em um único polígono para que se delimitasse a área de interseção entre o alcance espacial do transporte coletivo e dos setores censitários e por fim, a Equação 1 foi aplicada por meio do QGIS para o cálculo do indicador de acessibilidade do transporte coletivo .

Para o caso do problema de caminho mínimo, foi amostrado como ponto de origem, o local de um acidente de trânsito na rua Colon e como destino, o Hospital Municipal São José. Sendo que, ambos os pontos representam localidades reais da cidade de Joinville. A velocidade utilizada para o cálculo do tempo é constante, neste caso, foi considerada uma velocidade média de 50 km/h.

Para exemplificar métodos de clusterização do QGIS, foram utilizados dados de fluxos veiculares extraídos dos controladores de tráfego de Joinville. O QGIS permite a criação de clusters baseado em atributos a partir de uma camada vetorial. Optou-se por gerar três clusters que agrupassem os aparelhos de acordo com fluxo médio de veículos medido na hora pico (das 18h até as 19h) e fluxo médio de veículos ao longo de cada dia da semana.

Foram atribuídos os mesmos pesos para todos os atributos dos controladores de tráfego e como resultado, os pontos foram agrupados de acordo com suas características de fluxo. Os clusters formados foram divididos nas seguintes categorias: ponto de baixo fluxo de veículos, ponto de médio fluxo de veículos e ponto de alto fluxo de veículos.

Para equacionar a geração de viagens em Joinville, foram utilizadas as variáveis independentes verificadas como as mais significativas a partir de testes *t-Student*. Entre as que podem explicar a geração de viagens

no ano de 2010 estão: número populacional, renda média por habitante e número de empregos por zona de tráfego.

As zonas de tráfego escolhidas foram os limites de cada bairro da cidade, que não são polígonos contíguos. Portanto, para a obtenção da matriz de proximidade espacial para as zonas de tráfego, foi considerada a distância euclidiana entre cada bairro em análise.

A quantidade de viagens e empregos foi extrapolada para a população total de Joinville em 2010 para possibilitar o equacionamento, sendo que, as regressões foram feitas com o auxílio do SIG GeoDa. Foram concebidos modelos de regressão linear múltipla (*Reg. Lin M*), espacial auto-regressivo misto (*Sp. Lag*) e de erro espacial (*Sp. Err*). As variáveis dependentes escolhidas foram: número de viagens com origens em cada bairro (viagens produzidas) e número de viagens com destino para cada bairro (viagens atraídas).

Finalmente, foi comparado para cada modelo de regressão, o coeficiente de determinação (R^2), Verossimilhança Logarítmica (V. Log), Critérios de Akaike e Schwarz, testes de Breusch-Pagan e Índice de Moran para os resíduos.

Importante salientar que para os três modelos, foram considerados 41 bairros de Joinville, sendo que a cidade tem 43 no total. A Zona Industrial Tupy e o bairro Dona Francisca foram excluídos da análise porque não foram citados na pesquisa OD, portanto, a sua inclusão tornaria os resultados menos confiáveis.

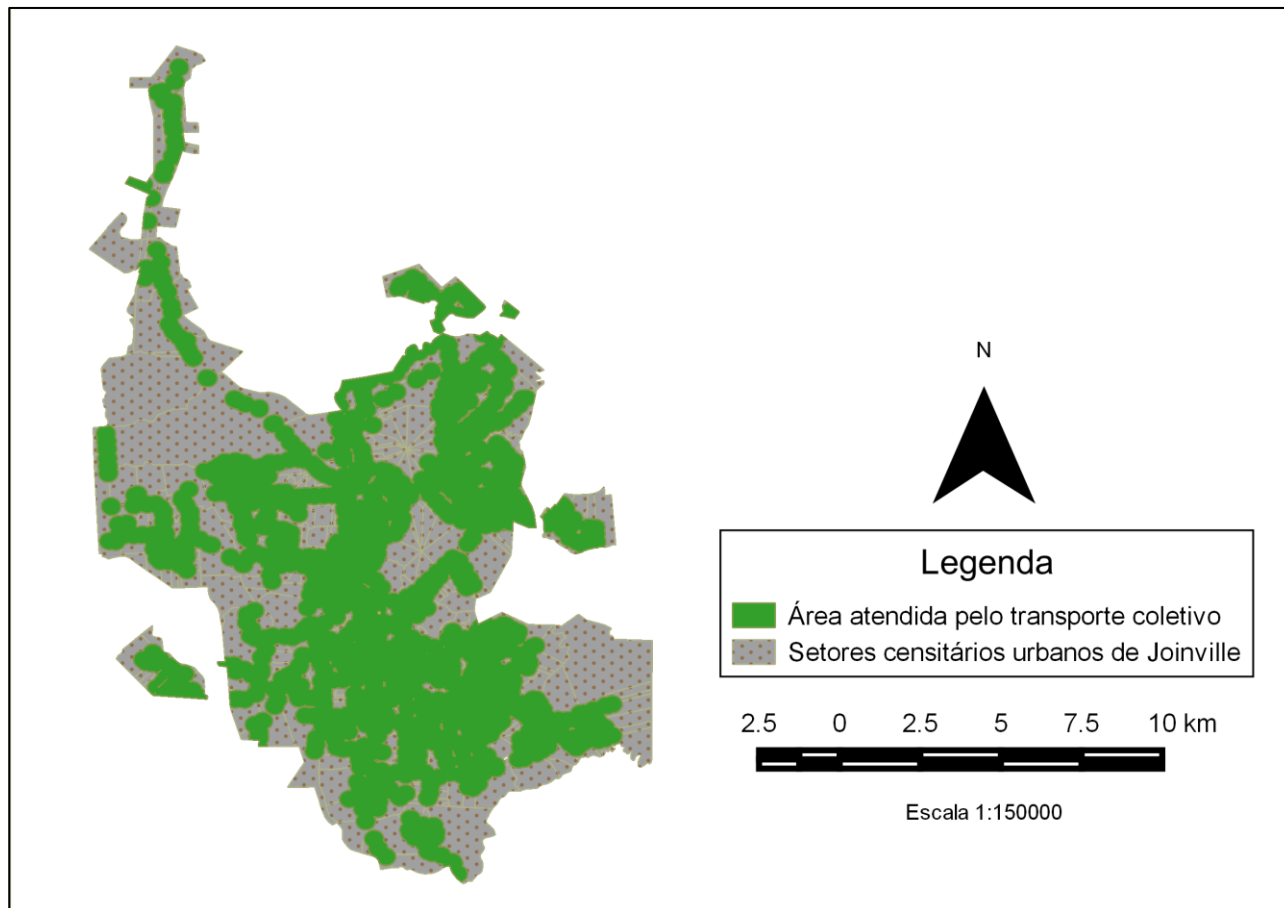
4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Acessibilidade espacial do transporte público urbano

A interseção entre o alcance espacial do transporte coletivo e os setores censitários mostra que um total de 409.738 habitantes é atendido pelo transporte público dentro de uma distância de 300 m. Considerando que a população urbana de Joinville é de 497.850 habitantes (IBGE, 2010), é possível inferir que 18% da população urbana não têm suas necessidades atendidas pelo transporte coletivo no município.

O indicador de acessibilidade do transporte coletivo, que resultou em 0,823, indica segundo a Tabela 2, que Joinville possui uma boa distribuição espacial dos pontos de embarque e desembarque do transporte público urbano. A Figura 2 mostra o mapa que representa a acessibilidade espacial do transporte coletivo em Joinville e os resultados gerais encontrados.

Figura 2: Acessibilidade espacial do transporte público urbano em Joinville.

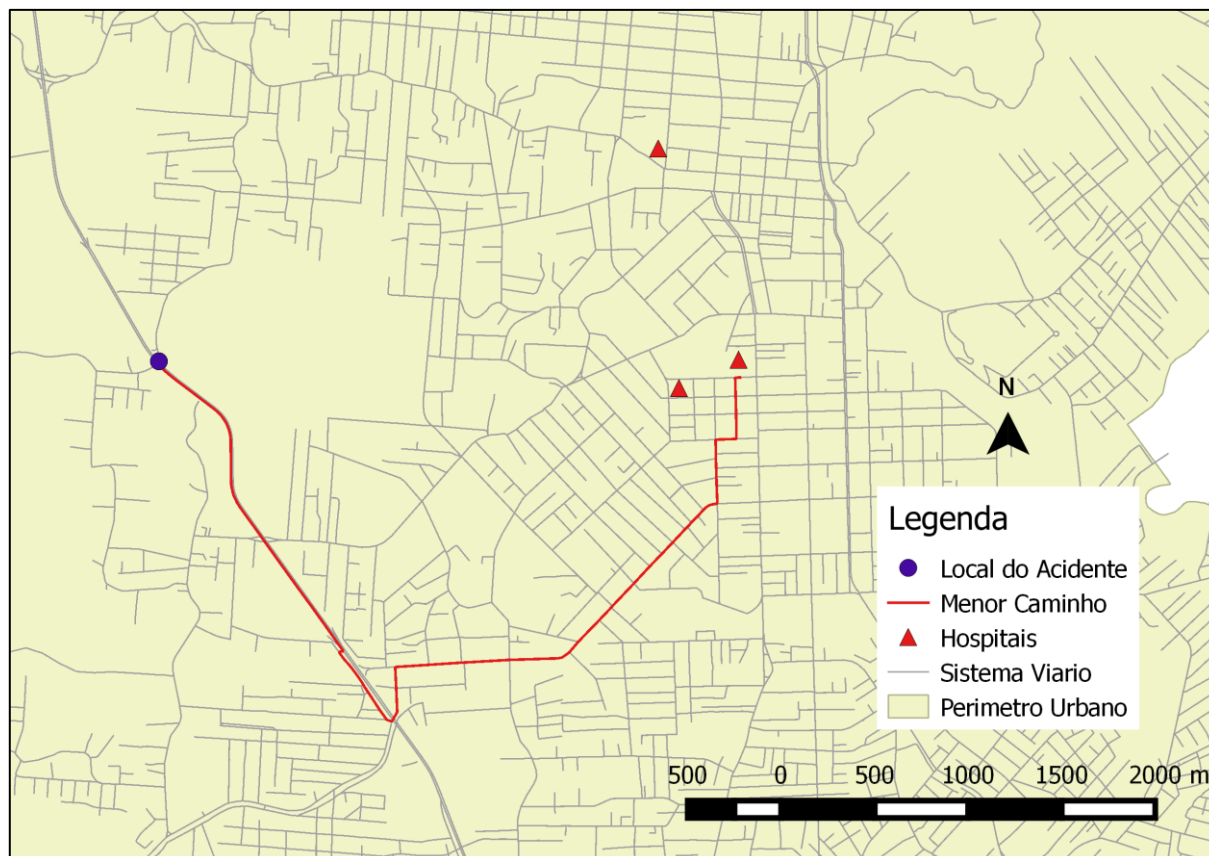


4.2. Caminho mínimo

O QGIS calcula por meio do complemento *caminho mais curto*, o caminho mínimo entre dois pontos em uma camada de linhas e exporta o caminho à rede viária, o algoritmo para cálculo é um módulo complementar em C++ baseado no algoritmo de Dijkstra (1959). Para que o complemento gere uma rota, é necessário informar um ponto de origem e de destino, os pontos podem ser inseridos por seleção no mapa ou por suas coordenadas. Além disso, é necessário informar um campo de atributos para cada arco do sistema viário que indique quais os sentidos de tráfego permitidos e quais são suas velocidades de operação.

O percurso gerado é adequado a uma rede viária (linhas), portanto, não é considerada apenas a distância euclidiana entre os dois pontos. O usuário deve definir se o critério da geração da menor rota será baseado no comprimento ou no tempo de viagem, que devem ser valores constantes. O complemento não considera efeitos de congestionamento e informa a distância total percorrida na rota (5,55783 km) e o tempo total do deslocamento (0,111157 h).

Figura 3: Caminho mínimo gerado.

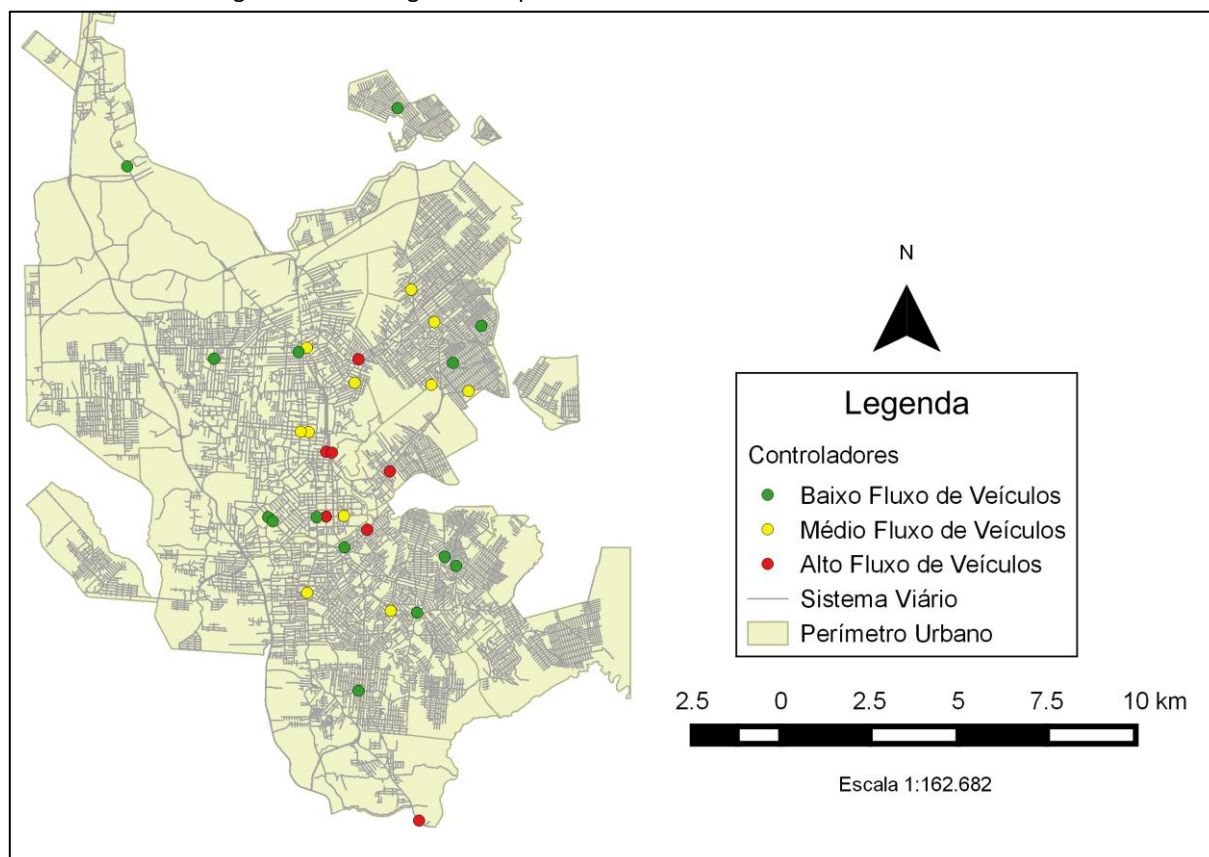


4.3. Clusterização

A Figura 4 mostra os clusters de fluxos veiculares gerados. Idealmente, os dados de volume veicular seriam combinados com a velocidade por veículo registrada no momento da contagem, para que se pudesse avaliar também o efeito do congestionamento, entretanto, os dados de velocidades não foram registrados nas contagens. O fluxo de veículos sozinho não é suficiente para avaliar, por exemplo, o grau de saturação de um sistema de transportes.

O QGIS permite análises não só de clusters espaciais, mas também de clusters baseados em atributos. O método para determinação de clusters no complemento utilizado (*attribute based clustering*) é o de k-médias, onde para cada atributo podem ser atribuídos pesos diferentes.

Figura 4: Clusters gerados a partir de fluxos veículos medidos em Joinville.



O resultado dos clusters indica que existe um maior fluxo de veículos nas regiões centrais de Joinville, enquanto nas regiões periféricas, existe uma redução do volume de veículos trafegados na hora de pico e ao longo da semana. O único ponto que difere desse padrão espacial de fluxos é o ponto na Rua Waldomiro José Borges 6528, localizado no extremo sul de Joinville. O mapa de fluxo permite verificar padrões de deslocamento e a partir dele investigar quais características regionais influenciam os deslocamentos na cidade.

4.4. Geração de viagens

Os três modelos de geração de viagens elaborados para Joinville (Tabela 3) apresentam um coeficiente de multicolinearidade abaixo de 10, significando que as variáveis independentes escolhidas não são excessivamente correlacionadas. Ao analisar os demais indicadores, é possível inferir que o modelo *Sp. Err.* é o que mais se adequa de forma geral aos dados de Joinville.

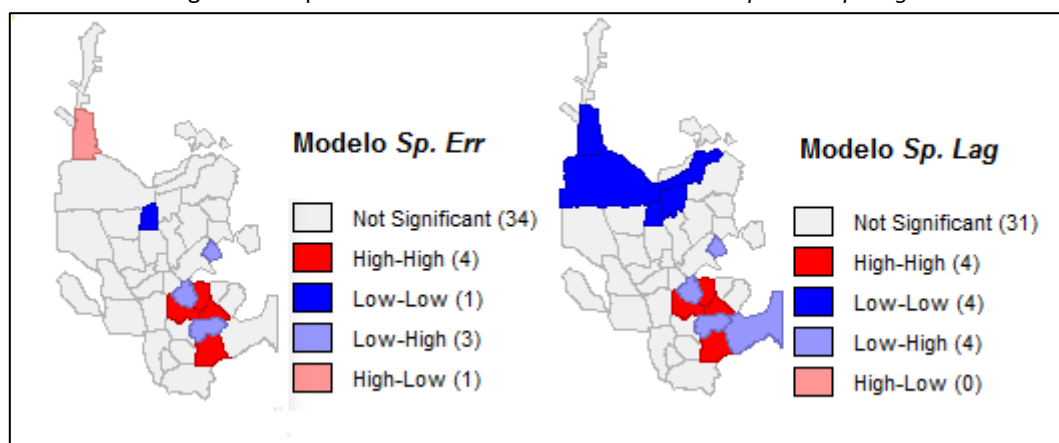
Tabela 3: Modelos de geração de viagens para Joinville.

Modelo	Produção de Viagens			Atração de Viagens		
	Reg. Lin M	Sp. Lag	Sp. Err	Reg. Lin M	Sp. Lag	Sp. Err
R²	0,7494	0,7509	0,7602	0,754	0,7557	0,7632
V. Log	-427,397	-427,288	-426,786	-427,17	-427,046	-426,637
Crit. Akaike	860,794	862,577	859,571	860,34	869,093	859,274
Crit. Schwarz	866,078	869,622	864,855	865,624	869,138	864,588
I de Moran	0,0836	0,0839	0,0072	0,0779	0,0856	0,0069
Breusch-Pagan	0,06462	0,0643	0,14985	0,08703	0,08821	0,16956

Em **negrito** - melhores resultados obtidos

Os testes estatísticos permitem afirmar que modelos de regressão que incorporam elementos espaciais são mais adequados à Joinville. Além disso, é notável pelos mapas residuais de Moran (Figura 5), que o modelo *Sp. Err* apresenta menos agrupamentos significativos entre os resíduos.

Figura 5: Mapa de Moran dos resíduos dos modelos *Sp. Err* e *Sp. Lag*.



Ainda que se tenha obtido três modelos, eles não apresentam confiabilidade suficiente para representar a geração de viagens em Joinville. Os coeficientes de determinação não apresentaram resultados satisfatórios (~0.75), um modelo apropriado deveria possuir um coeficiente acima de 0.9.

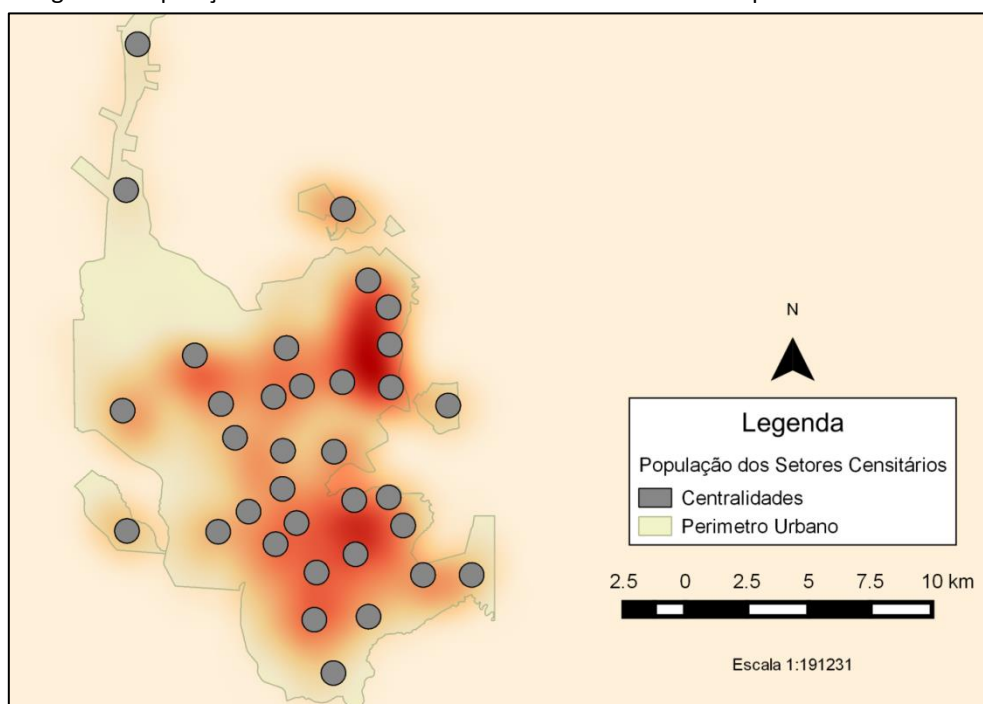
A amostragem feita para a Pesquisa OD (escolha das centralidades) foi o principal limitante para qualidade dos resultados. No questionário da Entrevista Domiciliar, eram questionados ao entrevistado qual era o bairro de origem e de destino do seu deslocamento. Entretanto, como não existem dados de uma população total para cada centralidade, não foi possível extrapolar os dados com confiabilidade. A amostra

foi extrapolada utilizando dados populacionais dos setores censitários do IBGE (2010) para cada bairro de Joinville.

Para evidenciar os problemas de amostragem da Pesquisa OD, os setores censitários de 2010 do IBGE foram mapeados e interseccionados com a área das centralidades, em seguida foi gerado um mapa de calor para a população total desses setores conforme a Figura 6. O mapa exhibe em tom vermelho escuro as regiões em que existe maior concentração de habitantes, e revela que a amostragem da pesquisa OD por meio das centralidades excluiu vários habitantes dos setores censitários, principalmente, na zona Leste de Joinville.

Este estudo não tem a pretensão de equacionar com precisão a geração de viagens em Joinville, apenas demonstrar as análises permitidas por meio de softwares livres como o GeoDa. Sugere-se que se faça uma extrapolação mais adequada da amostra das centralidades para que se obtenham modelos mais acertados. Para isso, seriam necessários dados populacionais totais para cada centralidade amostrada e não somente o número de habitantes entrevistados.

Figura 6: População dos setores censitários x centralidades da Pesquisa OD de Joinville.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais contribuições deste trabalho são prestar auxílio aos usuários de tecnologia SIG na escolha de ferramentas mais adequadas e, evidenciar o potencial do uso de SIG código aberto em diversas etapas do planejamento de transportes.

A complexidade do planejamento de transportes, comumente, exige que os planejadores não estejam restritos a um único instrumento, pois a qualidade dos resultados está atrelada, primeiramente, ao

levantamento de dados e, posteriormente, à escolha e uso de ferramentas adequadas para o seu tratamento e análise.

Algumas ferramentas SIG, como é o caso do open source QGIS aqui analisado, podem ser utilizadas desde a etapa de coleta e tratamento dos dados, na manutenção dos bancos de dados, na integração e compatibilização da informação com outras tecnologias, no emprego de técnicas específicas de planejamento, até a análise e visualização dos resultados. A possibilidade de utilizar um SIG livre flexível como instrumento essencial das etapas de planejamento reforça a ideia do planejamento integrado da mobilidade, que vincula a gestão do transporte às diretrizes de uso do solo municipal.

Cabe enaltecer o emprego do GeoDa, uma ferramenta de estatística espacial, em análises de regressão. Visto que, a incorporação de variáveis de dependência espacial costuma qualificar os resultados do modelo. Análises de regressão não estão restritas à modelagem da geração de viagens, mas também costumam ser utilizadas para geração de plantas genéricas de valores imobiliários.

Conforme evidenciado, é usual que os dados necessários para planejamento de transportes não estejam disponíveis conforme desejado, o que aumenta os desafios para planejadores de transporte. Destes é exigido criatividade quando coletando e manipulando dados para suas análises, que podem ser facilitadas com o uso de SIG. Para o caso de Joinville, o poder público disponibiliza bases georreferenciadas de qualidade, o que comumente não condiz com a realidade brasileira. Sugere-se que as políticas municipais de Joinville do acesso e transparência da informação devam ser adotadas também pelos demais municípios brasileiros.

Para finalizar, os resultados mostram que, o QGIS e o GeoDa podem ser aplicados em diversas categorias de análise em transporte, apoiando a tomada de decisão por parte do poder público. Considerando o surgimento de novas alternativas de fácil obtenção, distribuição e manipulação do código-fonte, é válido discutir se softwares livres podem substituir os comerciais, partindo do princípio que, um SIG é um meio e não um fim. A utilização do software comercial não garante resultados mais acertados ou análises mais aprofundadas.

Este trabalho não deseja esgotar o tema, apenas exaltar a utilização de ferramentas livres. Além disso, pretendeu-se demonstrar que é possível ao poder público aplicar conceitos modernos de planejamento de transportes, sem a necessidade de se submeter a softwares comerciais com onerosas licenças anuais.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G. et al. **Análise Espacial de Áreas**. Em: Análise espacial de dados geográficos, eds, Fuks, S.D.; Carvalho, M.S.; Câmara G.; Monteiro, A.M.V. – Divisão de processamento de imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos, Brasil. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

COSTA, M. S. **Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável**. 2008. 248 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DIJKSTRA, E. W. A note in two problems in connexion with graphs. **Numerische Mathematik**. p. 269-271, 1959.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004.

FRIEDRICH, C. **Comparison of ArcGIS and QGIS for applications in sustainable spatial planning**. 2014. 181 p. Tese (Doutorado), Universität Wien, Viena, 2014.

HENRIQUE, C. S. **Diagnóstico Espacial da Mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza**. 2004. 165 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de mestrado em engenharia de transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010** – agregados por setores censitários dos resultados do universo – Santa Catarina. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 07 dez. 2016.

LOIDL, M. et al. GIS and transport modeling – strengthening the spatial perspective. **ISPRS International Journal of Geo-Information**. v. 5, p. 84-107, 2016.

LOPES, S. B. BRONDINO, N. C. M. SILVA, A. N. R. Análise do desempenho de modelos de regressão espacial na previsão de demanda por transportes. In: XIV Congresso Panamericano de Ingeniería de Tráfico y Transporte, 2006, Las Palmas de Gran Canaria, Espanha. **Anais...** Las Palmas de Gran Canaria, Espanha: PANAM XIV. Disponível em: <<http://www.redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2006-1/254-lobes-brondino-silva-panam2006/file>>. Acesso em: 24 maio 2017.

LÜBECK et al. Qualidade no transporte coletivo urbano. **Facef Pesquisa**. v. 14, n. 3, p. 264-277, 2011.

MACQUEEN, J. B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: Proceedings of the fifth Symposium on Math Statistics and Probability, 1967, Berkley, United States of America. **Anais...** Berley, USA: University of California Press, p. 281-297, 1967.

MORAIS, T. C. **Avaliação e seleção de alternativas para promoção da mobilidade urbana sustentável: o caso de Anápolis, Goiás**. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

MORLOK, E. K. **Introduction to transportation engineering and planning**. New York: Mcgraw-Hill College, 1978.

ORTUZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

SILIVI JR, O. L. et al. Análise temporal do processo de ocupação urbana irregular sobre áreas de preservação permanente em Joinville (SC). In: 12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 2016, Florianópolis, Brasil. **Anais do COBRAC 2016**. Florianópolis, Brasil. Disponível em: <<http://www.ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2016/paper/view/314/70>>. Acesso em: 26 jul 2017.

SILVA, T. C. S.; OLIVEIRA, R. L.; LIMA, J. P. Caracterização e roteirização do transporte coletivo por ônibus de Itajubá-MG utilizando SIG-T. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2011, Belo Horizonte, MG. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Belo Horizonte, MG: ENEGEP, 2011. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

STEVENSON, W. J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

TEIXEIRA, A. P.; BATISTA JR, E. D.; SENNE, E. L. F. Análise comparativa entre sistemas de apoio à decisão utilizados no planejamento de transportes. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2002, Curitiba, PR. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Curitiba, PR: ENEGEP, 2002. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pchave=&ano=2002>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

WAERDEN, P. V. D.; TIMMERMANS, H. Transportation planning and the use of TransCAD. **Transportes**. v. 4, n. 1, 1996. Disponível em: <<http://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/290>>. Acesso em: 21 abr. 2016.



WAGSTAFF, K. et al. Constrained k-means clustering with background knowledge. In: Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning, 2001, Williamstown, United States of America. **Anais...** Williamstown, USA: ICML, p. 577-584, 2001. Disponível em: <<https://web.cse.msu.edu/~cse802/notes/ConstrainedKmeans.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2016.

WATERS, N. M. Transportation GIS: GIS-T. **Geographical Information Systems**. v. 2, p. 827-844, 1999.

ZUIDGEEST, M. H. P.; BRUSSEL, M. J. G.; MARSEEVEN, M. F. A. M. V. GIS for sustainable urban transport. **ISPRS International Journal of Geo-Information**. v. 4, p. 2583-2585, 2015.