

Análise espacial e geoestatística aplicadas ao estudo de sistemas de transporte público urbano

Spatial and geostatistical analysis applied to the study of urban public transport systems

Bruno de Oliveira Lázaro¹, Maria Lígia Chuerubim²

Faculdade de Engenharia Civil / Universidade Federal de Uberlândia^{1,2}

brunodeoliveira38@gmail.com¹; marialigia@ufu.br²

Resumo: Este trabalho objetivou realizar um estudo de caracterização, pós-implantação, do corredor exclusivo de ônibus existente na Avenida Segismundo Pereira em Uberlândia-MG, Brasil. Para tanto, foram utilizadas geotecnologias de coleta e interpretação de informações georreferenciadas, visando à obtenção dos principais elementos de infraestrutura do corredor. Além disso, também foi aplicado um questionário online para a análise da percepção dos usuários sobre o sistema de transporte estudado. Estes dados foram, posteriormente, correlacionados com mapeamentos de uso e ocupação do solo, como também modelados por meio de técnicas de análise espacial, geoestatística e de inteligência artificial. Observou-se que a infraestrutura do corredor atende à demanda dos usuários, onde a maioria das estações de embarque e desembarque se distribuem de modo homogêneo ao longo do eixo viário e apresentam equipamentos de acessibilidade. Além disso, a maioria das interseções ao longo do corredor possuem dispositivos semaforicos para veículos e pedestres, bem como rampas de acessibilidade, faixas de pedestre e travessias elevadas. Entretanto, questões relacionadas a tarifação, segurança e abrangência ainda são tomadas como críticas pela comunidade, que utiliza o referido sistema de transporte, evidenciando assim a necessidade de estudos, políticas e ações que visem minimizar os problemas experimentados pela mobilidade urbana local.

Palavras-chave: Geotecnologias, Transporte Público Urbano, Corredores de Ônibus, Autocorrelação Espacial.

Abstract: This work aimed to carry out a post-implantation characterization study of the exclusive bus corridor on Avenida Segismundo Pereira in Uberlândia-MG, Brazil. For that, geotechnologies were used to collect and interpret georeferenced information, in order to obtain the main infrastructure elements of the corridor. In addition, an online questionnaire was also applied to analyze the users' perception of the studied transport system. These data were subsequently correlated with mapping land use and occupation and modeled using spatial techniques, geostatistical analysis and artificial intelligence. It was observed that the corridor's infrastructure meets the users' demand, where most of the embarkation and disembarkation stations are distributed homogeneously along the road axis and have accessibility equipment. In addition, most intersections along the corridor have traffic lights for vehicles and pedestrians, as well as access ramps, pedestrian crossings and elevated crossings. However, issues related to pricing, security and coverage are still considered critical by the community that uses the aforementioned transport system, thus highlighting the need for studies, policies and actions that aim to minimize the problems experienced by local urban mobility.

Keywords: Geotechnologies, Urban Public Transportation, Bus Corridors, Spacial Autocorrelation.

1 INTRODUÇÃO

A modelagem de sistemas de transporte em ambientes urbanos envolve processos complexos e sistêmicos, sendo estes atrelados ao planejamento e a infraestrutura urbana, a gestão dos setores socioeconômicos e as questões ambientais (CHEBA e SANIUK, 2016). Neste contexto, pesquisas interdisciplinares fundamentadas em abordagens holísticas vêm buscando métodos que visam analisar, de forma sinérgica, como múltiplas variáveis influenciam, direta ou indiretamente, no desempenho dos sistemas de transporte, bem como no comportamento e na qualidade de vida da população residente em ambientes predominantemente urbanos (CHEBA e SANIUK, 2016; CHUERUBIM, 2019).

Nas últimas décadas, inúmeras cidades ao redor do mundo têm empreendido esforços para orientar o progresso urbano, atrelado ao desenvolvimento de seus sistemas de transporte (JONES, 2014). Esta prática, denominada de DOTS (Desenvolvimento Orientado aos Transportes), busca promover a consonância entre a oferta de infraestrutura urbana, o desenvolvimento social da população, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento de sistemas de transporte eficientes, inteligentes e sustentáveis. A mobilidade urbana, nesta conjuntura, representa a tendência ao movimento, associada à necessidade do deslocamento ou à mudança de residência ou local de trabalho, por diferentes modos de transporte (LINDENAU e BÖHLER-BAEDEKER, 2014).

Com base nesta problemática, o estudo dos sistemas de transporte se consolida como uma área de fundamental importância para as mais diversas áreas das ciências, das tecnologias e das engenharias, como a Engenharia Civil, pois permite estabelecer o elo entre o panorama geral da mobilidade urbana e seus desdobramentos. Por meio desses estudos, é possível otimizar os deslocamentos dentro das cidades, readequar e planejar de maneira eficiente rotas e trajetos, reduzir custos, promover segurança e conforto aos usuários de transporte, aumentar a qualidade da infraestrutura de transporte, dentre outros aspectos que culminam na melhoria do ambiente construído urbano e na qualidade de vida de seus habitantes (TSIOTA e POLYZOS, 2017).

Neste contexto, este trabalho apresenta os resultados obtidos a partir da análise do funcionamento do sistema de transporte público por ônibus do município de Uberlândia/MG, Brasil, e considerou como estudo de caso um corredor exclusivo para rotas de ônibus. Para tanto, foram utilizadas ferramentas derivadas das geotecnologias para a coleta e a análise de dados geoespaciais no referido corredor. Uma pesquisa online também foi realizada junto aos usuários do transporte público, com a finalidade de identificar suas percepções acerca dos serviços ofertados pelo sistema de transporte público do município, o que possibilitou detectar padrões de preferência relativos à escolha do transporte coletivo por ônibus.

Assim, por meio do estudo realizado, foi possível elaborar um diagnóstico qualitativo e quantitativo, bem como caracterizar o sistema de transporte público no corredor de ônibus analisado. Tais instrumentos podem contribuir ao processo de tomada de decisões pela administração pública, sugerindo à implementação de possíveis melhorias na mobilidade urbana local. Além disso, este trabalho apresenta um esforço preliminar que pode ser útil à elaboração de estratégias que melhor se ajustam ao sistema integrado de transporte urbano da cidade de Uberlândia, com foco em soluções inteligentes e sustentáveis, consonantes com as diretrizes da Nova Agenda Urbana da ONU - Organização das Nações Unidas, (ONU, 2017).

Neste sentido, o presente trabalho se estrutura da seguinte maneira: na seção 2, é apresentada uma revisão da literatura sobre o estado da arte em estudos de sistemas de transporte, análise espacial, geoestatística aplicada, bem como a abordagem de exploração de dados baseada na técnica de inteligência artificial da árvore de decisão. Na seção 3 são expostos os procedimentos metodológicos e experimentos realizados. A seção 4 aborda os resultados e

discussões realizados com base na metodologia proposta neste trabalho. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões obtidas e considerações finais sobre o trabalho realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, é apresentada a revisão da literatura acerca do tema proposto neste trabalho. Além disso, também são expostos conceitos teóricos que fundamentaram a elaboração deste estudo.

2.1 Sistemas de Transporte: conceitos básicos

Sistemas de Transporte (ST) são definidos como sendo o conjunto de soluções propostas para promover o deslocamento de pessoas, bens e serviços, entre diferentes localizações geográficas, sendo extremamente importantes ao desenvolvimento social e econômico de uma nação (SOLÁ, VILHERLMSON E LARSSON, 2018). Por meio destes sistemas, pode-se promover o tráfego de informações, cidadãos e mercadorias, integrar regiões diversas do mesmo território nacional, promover a valorização econômica de espaços distintos, facilitar a interlocução entre diferentes povos, favorecer o investimento em infraestrutura viária em regiões de difícil acesso e incentivar as atividades comerciais (MIRANDA *et al.* 2009).

Os ST são, tradicionalmente, classificados por meio de modais. Um modal de transporte é definido como sendo o modo preponderante pelo qual um determinado ST promoverá seus deslocamentos, podendo assim ser classificado em cinco modais básicos: rodoviário, ferroviário, hidroviário, aeroviário e dutoviário (LAWSON, 2003). No caso do Brasil, assim como na maioria dos países latino-americanos, o modal rodoviário se estabelece como preponderante (BORGES *et al.*, 2017). Por meio deste modal, vários sistemas de transporte se desenvolvem e são responsáveis por realizar o transporte de cargas, bens e passageiros diariamente ao longo de todo o território nacional, seja em ambiente urbano ou rural, por meio do tráfego em rodovias e estradas (LAWSON, 2003).

2.2 Os Sistemas de Transporte público por ônibus no Brasil

No âmbito dos ST associados ao modal rodoviário, ganham destaque no cenário das cidades brasileiras os Sistemas de Transporte Público Urbano por Ônibus (STPUO). Estes sistemas são responsáveis por promover a mobilidade de milhares de brasileiros diariamente de suas casas para seus trabalhos, escolas, atividades de saúde e lazer, utilizando como veículo o ônibus coletivo (MIRANDA *et al.*, 2009; MORALES e MACEDO, 2007).

Os STPUO, normalmente, demandam por uma infraestrutura mais simplificada e menos onerosa, inicialmente, quando comparados às demandas geradas pelo transporte público por trilhos e por outros modais (LESSA, LOBO e CARDOSO, 2019). Sendo assim, os custos envolvidos no investimento inicial em pavimentação rodoviária, compra de veículos, planejamento de rotas e horários das viagens são mais vantajosos para os sistemas de ônibus urbanos, o que justifica sua crescente utilização nas cidades brasileiras para se promover a mobilidade urbana (BORGES *et al.*, 2017).

Tradicionalmente, esses sistemas de transporte por ônibus eram concebidos seguindo a Metodologia das 4 Etapas. Esse método de planejamento busca prever os melhores cenários possíveis para determinada demanda futura de tráfego a partir das seguintes etapas: análise de geração de viagens, estudo da distribuição das viagens, estudo da divisão modal e procedimentos de alocação de tráfego (CHOWDHURY *et al.*, 2018).

No entanto, a partir dos anos 2000, a Metodologia das 4 Etapas passou a apresentar algumas inconsistências, em razão do surgimento de novas demandas por parte dos usuários dos STPUO (como maior rapidez de trajeto, segurança, conforto e tarifação justa) e pela disseminação de novas tendências no que diz respeito ao planejamento territorial das cidades (GOMIDE, 2004). Com isso, os procedimentos metodológicos tradicionais para o planejamento do transporte público urbano se tornaram inadequados face a necessidade em se buscar o desenvolvimento pleno da mobilidade urbana (MORALES e MACEDO, 2007).

2.3 A política nacional de mobilidade urbana

O conceito de mobilidade urbana compreende um termo qualitativo que representa a capacidade, a possibilidade ou a facilidade de uma determinada população, em um espaço urbano, de realizar seus movimentos diários (LESSA, LOBO e CARDOSO, 2019; SOLÁ, VILHERLMSON E LARSSON, 2018). Em termos práticos, ela é um parâmetro que depende, essencialmente, da disponibilidade de diferentes modos de transporte, bem como das características de seus usuários (renda, emprego, gênero, idade e modo de transporte local) e da dinâmica de uso e ocupação do solo na área em que se insere (CHENG e CHEN, 2015).

Neste contexto, objetivando garantir que os ST possibilitem a mobilidade e estejam em consonância com as novas demandas de seus usuários, vários países vêm desenvolvendo estatutos e leis que visam direcionar o planejamento e operação dos sistemas de transporte (CHOWDHURY *et al.*, 2018; SILVA, 2013; XU *et al.*, 2015). No caso do Brasil, foi instituída a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), por meio da Lei nº 12.587/2012 (BRASIL, 2012).

No que diz respeito aos STPUO, a PNMU sugere que estes sistemas sejam concebidos de modo a possibilitar a maior abrangência de suas rotas, o menor tempo de trajeto e a maior capacidade de usuários transportados de forma segura e confortável. Ademais, a Lei nº 12.587/2012 também direciona que a tarifação do transporte público urbano seja justa, plural e inclusiva e que estes sistemas sejam projetados, construídos e operados em sintonia com questões ambientais, colaborando assim com a qualidade e sustentabilidade do ambiente construído e de suas populações (BRASIL, 2012).

Entretanto, no Brasil, a efetivação das políticas de mobilidade tornou-se ineficiente em decorrência do crescimento acelerado e desordenado das áreas urbanas, em especial nos grandes centros urbanos. Essa problemática conduz à necessidade tanto de adequação das políticas e normativas existentes, quanto de intervenções na gestão de sistemas de transportes em função da dinâmica de uso e ocupação do solo urbano.

2.4 Os corredores de ônibus como instrumentos de mobilidade urbana

A partir do início do século XXI, surgiram no Brasil os corredores e faixas exclusivas de ônibus, como uma tentativa de otimizar os STPUO e garantir sua adequação à PNMU (SATRIA e CASTRO, 2016). Estes elementos de infraestrutura urbana se configuram como vias de tráfego privativo para ônibus e buscam oferecer rotas mais abrangentes, tempos menores de percurso, mais conforto e segurança nas viagens, como também menores retenções de tráfego (SATRIA e CASTRO, 2016; SOLÁ, VILHELMSON e LARSSON, 2018).

O planejamento, construção, operação e gerenciamento dos corredores exclusivos de ônibus são processos holísticos e que integram diversas áreas do conhecimento científico. Assim, estes sistemas de transporte são expoentes da aplicação conjunta, sistêmica e

multidisciplinar das Geociências, da Engenharia Civil e do Urbanismo, a favor do desenvolvimento da mobilidade urbana (MCIDADES, 2007).

Atualmente, a maioria das cidades de médio e grande porte no Brasil e no mundo possuem corredores exclusivos para ônibus (MORALES e MACEDO, 2007). Esses corredores são responsáveis por promover o deslocamento de milhares de pessoas diariamente ao longo do espaço urbano e influenciam diretamente na configuração do mesmo, promovendo intenso dinamismo nas relações de uso e ocupação do solo das cidades.

Entretanto, a existência de corredores exclusivos de ônibus nas cidades não garante a promoção da mobilidade urbana eficiente (LINDAU, HIDALGO e LOBO, 2014). Torna-se necessário que esses corredores estejam, constantemente, sob alvo de análises e estudos que visem otimizar seu processo de operação e gerenciamento, de modo que seja possível adequar seu traçado geométrico, sua infraestrutura e seu funcionamento às variações de demanda de seus usuários e ao dinamismo do uso do solo urbano no qual eles se inserem (MUÑOZ e HIDALGO, 2013).

2.5 Geotecnologias aplicadas ao estudo de corredores de ônibus

Entre as principais ferramentas utilizadas para se promover estudos sobre os STPUO, destacam-se as geotecnologias e a AE - Análise Espacial, (SATRIA e CASTRO, 2016; BORGES *et al.*, 2017; CHEBA e SANIUK, 2016). As geotecnologias podem ser definidas como o conjunto de recursos tecnológicos compostos pela associação entre hardwares e softwares que possibilitam a aquisição, a interpretação, a modelagem e a oferta de informações georreferenciadas (EDWARDS e GRIFFINS, 2013).

Atualmente, entre as geotecnologias, destacam-se aquelas baseadas na detecção de imagens digitais de alta resolução orbitais, baseadas em princípios do Sensoriamento Remoto; imagens aéreas captadas por drones e tratadas por fundamentos da Fotogrametria; técnicas de integração de dados derivados de diferentes fontes e formatos, por meio de abordagens de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas; e, por fim, dados derivados de informações coletadas pelo sistema de navegação global por satélites (GNSS – *Global Navigation Satellite System*), (CHOWDHURY *et al.*, 2018).

No cenário do planejamento e operação dos STPUO, as geotecnologias têm ganhado cada vez mais destaque (SATRIA e CASTRO, 2016). Por meio de sua utilização, é possível analisar de modo mais efetivo rotas e trajetos, estudar o fluxo de veículos e passageiros, estimar e otimizar tempos das viagens e acompanhar, em tempo real, o deslocamento georreferenciado de frotas e passageiros (SILVA *et. al.*, 2017).

Atreladas às geotecnologias, as técnicas de AE e Geoestatística também têm sido amplamente empregadas para se promover estudos sobre os STPUO em todo o mundo (ABDI e WILLIAMS, 2010). Por meio delas, é possível aplicar procedimentos de modelagem matemática e estatística e, com isso, compreender melhor o funcionamento dos sistemas de transporte e sua relação com parâmetros sociais, econômicos, culturais, ambientais e de infraestrutura do ambiente urbanizado (SCHOENAU e MÜLLER, 2017).

Quando aplicadas à estudos relacionados aos STPUO, a Geoestatística e a AE possibilitam o estudo da dispersão espacial de fenômenos associados à mobilidade urbana, além de tornar possível a detecção de padrões e a modelagem de cenários futuros relacionados aos sistemas de transporte (LINDAU, HIDALGO e LOBO, 2014). Com isso, elas podem ser utilizadas como importantes instrumentos de apoio ao processo de tomada de decisão, no que diz respeito ao planejamento, execução e gerenciamento de sistemas de transporte público por

ônibus nas cidades em todo o mundo, de forma a colaborar com o desenvolvimento de uma mobilidade urbana inteligente e sustentável.

2.5.1 Autocorrelação espacial a partir de aplicações de geoestatística e AE:

A autocorrelação espacial é uma das abordagens mais populares no âmbito da geoestatística e se configura como uma importante medida que representa a dependência geográfica entre as variáveis (ANSELIN, 2002; BUSSAB e MORETTIN, 2002). Ela permite realizar inferências sobre a influência da localização no comportamento de diversos fenômenos (BIVAND *et al.*, 2008). No caso deste trabalho, optou-se por estudar a configuração do corredor de ônibus por meio da autocorrelação espacial, devido à grande variedade de informações associadas a este e que exercem influência em seu funcionamento.

Tradicionalmente, a autocorrelação é analisada por meio do cálculo do Índice de Moran (IM), um valor numérico que representa o grau de dependência espacial entre diversas variáveis. Assim, o IM é um número contido no intervalo de $[-1;1]$, onde os valores negativos indicam correlação inversamente proporcional, os valores positivos indicam correlação diretamente proporcional e os valores próximos à zero indicam a ausência de correlação espacial (MARTINS *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2015). Valores fora do intervalo também indicam ausência de lógica espacial. O IM pode ser calculado pela Equação 1 (BUSSAB, e MORETTIN, 2002):

$$I = \frac{n}{W} \left(\frac{\sum_i \sum_j w_{ij} Z_i Z_j}{\sum_i (Z_i)^2} \right) \quad (1)$$

em que: I corresponde ao Índice de Moran; n ao número de observações; W à soma dos ponderadores da Matriz de observações; w_{ij} ao elemento na matriz de vizinhança das observações; e, Z_i e Z_j aos desvios dos elementos observados em relação à média. Os índices i e j representam, respectivamente, as observações relacionadas a latitude (coordenada y) e longitude (coordenada x).

Neste sentido, o IM associa a um conjunto de variáveis a afirmação ou a negação da chamada Lei de Tobler (TOBLER, 1970). Por meio dela, generaliza-se que todos os fenômenos que se desenvolvem espacialmente possuem algum grau de dependência. Assim, a Lei de Tobler define que, em um dado espaço geográfico restrito, variáveis próximas tendem a possuir comportamento semelhante, enquanto variáveis distantes tendem a possuir comportamento distinto (ANSELIN, 2002; TOBLER, 1970). Em estudos associados a ST, o IM é comumente empregado por meio de sua representação gráfica. Neste gráfico, o eixo y assume os valores de IM calculados, enquanto que o eixo x assume os valores de distância geográfica entre as variáveis observadas. A assimetria da dispersão em relação ao centro do gráfico indica o tipo de autocorrelação. A ausência de uma tendência geral na dispersão dos pontos indica a falta de autocorrelação espacial entre as variáveis, o que denota que as mesmas não seguem a Lei de Tobler (BIVAND *et al.*, 2008; MARTINS *et al.*, 2014).

2.5.2 Utilização de Árvores de Decisão para estudos em sistemas de transporte

As árvores de decisão são ferramentas de estudo amplamente utilizadas no contexto das análises geoestatísticas e espaciais (XU *et al.*, 2015). Elas são recursos de inteligência artificial que se configuram como algoritmos classificatórios e preditivos acerca do comportamento geral de um conjunto de observações (ABELLAN, LÓPEZ e DE OÑA, 2013).

As árvores são compostas por uma estrutura de nós e ramos, normalmente organizados de modo recursivo. Cada nó representa uma classe da variável estudada, enquanto cada ramo computa seus respectivos atributos seguindo uma determinada regra de associação disjunta do tipo lógico binário, ou seja, elas atribuem a relação “Sim” ou “Não” a uma variável. Com base nessas regras, as variáveis são agrupadas e classificadas em uma escala de importância em função do fenômeno geral estudado. Desta maneira, por meio da estrutura de uma árvore de decisão, é possível compreender quais variáveis exercem maior influência no funcionamento de determinado fenômeno (CHUERUBIM, 2019).

Para se otimizar o resultado do processo gerado pela árvore de decisão, métricas são utilizadas a fim de maximizar a pureza das relações obtidas, em cada nó, por meio da aplicação das regras de associação binárias. Este procedimento é denominado de “poda da árvore” e permite a obtenção de árvores de decisão com menor quantidade de nós, aumentando assim a eficiência da análise proposta.

Neste contexto, uma das métricas mais comumente utilizadas para otimização das árvores de decisão é o critério de redução de Gini e o algoritmo de classificação CART (ABELLAN, LÓPEZ e DE OÑA, 2013). O critério de Gini mede o grau de importância de cada variável analisada na formulação e modelagem do fenômeno estudado, maximizando assim o processo de ramificação da árvore de decisão. Este índice pode ser numericamente expresso pela Equação 2 (ABELLAN, LÓPEZ e DE OÑA, 2013):

$$valor = impureza (nó\ original) - \sum_{i=1}^n P(n) \cdot impureza(n) \quad (2)$$

em que: *impureza* corresponde ao valor da não homogeneidade do nó; $P(n)$ ao valor da proporção de observações atribuídas ao nó analisado; n ao nó analisado; i ao número da observação e; por fim, *valor* ao valor numérico da impureza calculada pelo método. A medida da impureza de cada observação associada ao critério de redução de Gini, por sua vez, pode ser expressa na Equação 3 (ABELLAN, LÓPEZ e DE OÑA, 2013).

$$impureza(n) = 1 - \sum_{i=1}^{classes} \frac{n^{\circ} \text{ de classes do nó analisado}}{n^{\circ} \text{ de observações atribuídas ao nó analisado}} \quad (3)$$

em que: n corresponde à observação analisada; i a cada observação individual; *classes* e *impureza* ao grau de impureza do critério gini obtido em razão do número de classes analisadas pelo número de classes atribuídas a cada nó.

Em função de sua multimodalidade causal e da enorme quantidade de variáveis que influenciam seu funcionamento, recursos tradicionais de estatística descritiva não apresentam bons resultados na caracterização e modelagem desses sistemas (CHUERUBIM, 2019). Assim, as árvores têm sido muito empregadas pois permitem uma melhor abordagem e compreensão do funcionamento dos diversos parâmetros de influenciam a mobilidade urbana (CHENG e CHEN, 2015; LINDENAU e BÖHLER-BAEDEKER, 2014).

3 METODOLOGIA

A fim de se caracterizar e avaliar o funcionamento dos STPUO no município de Uberlândia, Brasil, este trabalho propôs um procedimento metodológico baseado na utilização de geotecnologias, de técnicas de análise espacial e mineração de dados baseada em técnicas de inteligência artificial. Para tanto, considerou-se como estudo de caso um dos principais corredores exclusivos de ônibus da cidade, localizado na Avenida Segismundo Pereira.

3.1 Caracterização da área de estudo

O corredor exclusivo de ônibus da Avenida Segismundo Pereira localiza-se na região Leste da cidade de Uberlândia-MG, Brasil (Figura 1). Possui, aproximadamente, seis quilômetros de extensão e se insere na área de abrangência de quatro grandes bairros da zona urbana do município, sendo eles Santa Mônica, Segismundo Pereira, Novo Mundo e Vida Nova (Figura 2).



Figura 1 – Localização da Avenida Segismundo Pereira e seu corredor.

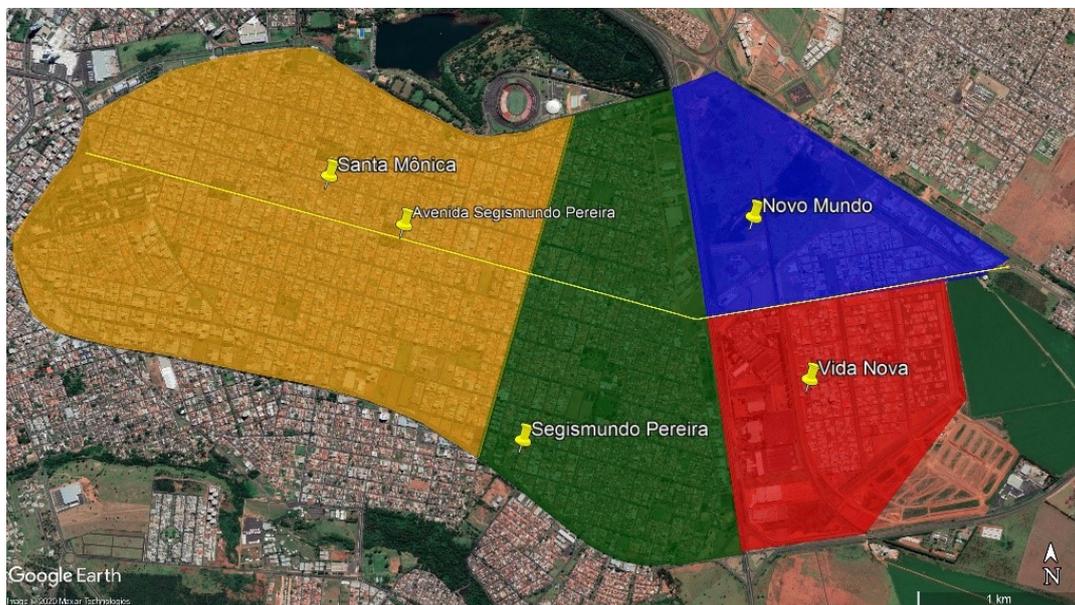


Figura 2– Bairros na região de abrangência do corredor de ônibus.

O corredor conta com 11 estações de embarque e desembarque, além de um terminal de ônibus em sua extremidade final no bairro Novo Mundo. Atualmente, o sistema de transporte em questão transporta, anualmente, mais de 50 mil passageiros e oferece serviços de mobilidade

urbana a moradores de cerca de 11 bairros na região Leste da cidade (Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2020).

3.2 Coleta de informações sobre o STPUO

Para se realizar a caracterização e a avaliação de um sistema de transporte, a literatura recomenda que sejam analisadas questões de infraestrutura, funcionalidade, operacionalidade e percepção do público que utiliza o referido sistema (LINDAU, HIDALGO e LOBO, 2014). Neste sentido, o presente trabalho buscou coletar informações relativas a infraestrutura do corredor de ônibus da Avenida Segismundo Pereira e das opiniões de seus usuários a respeito de seu funcionamento.

3.2.1 Coleta de informações georreferenciadas

A fim de se caracterizar espacialmente o corredor de ônibus, foram coletadas informações de localização georreferenciada tridimensionais (planimétrica e altimétrica) dos principais elementos de infraestrutura do corredor. Assim, foram obtidos dados sobre as estações de embarque e desembarque, as faixas de pedestre, os dispositivos semaforizados, as travessias elevadas, as Obras de Arte Especiais (OAEs) e os dispositivos de acessibilidade existentes no local. Essas variáveis foram obtidas de modo direto e indireto.

Para a coleta em modo indireto, foi utilizado o software *Google Earth Professional*, cuja precisão é da ordem de 2,00 a 2,80 metros e que atende aos propósitos da coleta das variáveis de infraestrutura (GOOGLE EARTH, 2020; JENSEN, 2009). Assim, foram selecionadas imagens de satélite *Landsat 8* em alta resolução da área de estudo (INPE, 2020). Essas imagens foram sobrepostas ao ambiente de trabalho digital do *Google Earth Professional*, que emprega as imagens obtidas pelo satélite *Quickbird*. Após este procedimento, foi feito o mapeamento tridimensional das travessias elevadas, das faixas de pedestre, das OAEs, dos dispositivos de acessibilidade, dos semáforos e das estações do corredor.

Para a coleta em modo direto, o trajeto do corredor foi caminhado, tanto no sentido Norte quanto no sentido Sul. Foram empreendidas seis viagens a pé para coleta de informações georreferenciadas sobre os elementos de infraestrutura, utilizando um receptor GNSS de navegação modelo *ETREX 32X Garmin*. Essa etapa foi realizada para se obter a validação dos dados obtidos por meio da coleta indireta de informações.

Ademais, em função da limitação da resolução das imagens digitais utilizadas neste trabalho, algumas variáveis necessárias a modelagem do estudo não podiam ser visualizadas ou ainda não apresentam boa precisão. O que conduziu a necessidade de coleta em loco das mesmas. Além disso, também foram registradas as coordenadas de alguns pontos do pavimento da via exclusiva do corredor, que apresentaram manifestações patológicas ou anomalias em sua superfície.

3.2.2 Coleta de informações sobre a percepção do usuário

Para a análise de percepção dos usuários do sistema de transporte público, foi aplicada uma pesquisa online junto aos usuários do corredor de ônibus selecionado neste trabalho. A pesquisa teve como finalidade identificar as percepções dos passageiros em relação aos serviços ofertados pelo sistema de transporte público na cidade de Uberlândia, bem como de detectar possíveis padrões de preferência relativos à escolha do transporte coletivo por ônibus no município.

Na literatura, um dos principais parâmetros utilizados para a análise de desempenho de sistemas de transportes se refere à opinião de seus usuários. Ainda que compreenda um parâmetro subjetivo, a percepção das pessoas que utilizam um determinado ST é um importante indicador da qualidade e do desempenho da mobilidade urbana (TSIOTAS e POLYZOS, 2020). Por meio da análise da percepção do usuário, é possível planejar instrumentos de mobilidade urbana que sejam acessíveis, inclusivos, seguros, sustentáveis e inteligentes. Além disso, com o estudo desse parâmetro pode-se garantir a participação popular na elaboração dos sistemas de transporte, de modo consciente e em sintonia com as diretrizes da Nova Agenda Urbana da ONU no que diz respeito à mobilidade (LESSA, LOBO e CARDOSO, 2019).

Deste modo, foi elaborado um questionário online com 24 perguntas objetivas sobre aspectos sociais, demográficos e de percepção do usuário acerca do sistema de transporte coletivo por ônibus (Apêndice A). Este instrumento de pesquisa foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP)¹. Somente após a sua aprovação pelo CEP o questionário foi disponibilizado ao público, sendo a participação dos entrevistados condicionada a adesão de um termo de consentimento livre e esclarecido. Este questionário foi disponibilizado ao público através da plataforma *Google Forms* e divulgado através das mídias sociais.

Assim, o questionário foi aplicado de modo online objetivando-se um mínimo de 68 respostas. Este valor foi calculado levando em consideração as recomendações da literatura de estatística descritiva, para cálculo de mínimos amostrais em pesquisas de opinião (BUSSAB e MORETTIN, 2002; COSTA NETO, 2002). O mínimo amostral foi calculado seguindo a Equação 3 (COSTA NETO, 2002):

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad (3)$$

em que: n corresponde ao tamanho de indivíduos da amostra; z ao valor crítico do grau de confiança adotado na pesquisa; p = porção de indivíduos relevantes na pesquisa; q = porção de indivíduos irrelevantes na pesquisa; e , e a margem de erro esperada.

Para pesquisas de cunho exploratório, na área de Urbanismo, Planejamento Urbano e Engenharia de Transportes, adota-se como valores usuais para z e e de, respectivamente, 1,285 e 0,05. Esses valores indicam uma margem de erro inferior a 5% e um grau de confiança maior que 95% para a pesquisa proposta (BUSSAB e MORETTIN, 2002; COSTA NETO, 2002). Os valores de p e q foram adotados como 0,5 e 0,5, respectivamente. Isso se deve ao fato de não existirem pesquisa anteriores na área de estudo, que permitam averiguar a real proporção entre indivíduos relevantes e irrelevantes para estudos desta natureza (BUSSAB e MORETTIN, 2002). Deste modo, se estabeleceu por experimentação uma proporção de equivalência para a relevância da população estudada. Neste trabalho, por meio do cálculo amostral (Equação 3), obteve-se um número mínimo de 42 respostas de usuários necessárias, para que a amostra coletada pudesse representar, de modo preciso e eficiente, a população total que utiliza o corredor de ônibus analisado por este trabalho.

¹ Protocolo “Geotecnologias e sistemas de transporte: Estudo do corredor de ônibus da Avenida Segismundo Pereira em Uberlândia/MG por meio de Análise Espacial”, submetido ao CEP/UFU com Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) N° 30976720.4.0000.5152, aprovado em 08 de junho de 2020.

3.3 Modelagem e processamento das informações coletadas

As informações coletadas sobre o corredor de ônibus foram segmentadas em três categorias: infraestrutura, pavimento e percepção do usuário. Esta segmentação foi realizada a fim de possibilitar a caracterização de fatores urbanísticos e sociais do STPU estudado.

A categoria infraestrutura compreende os dados relativos às localizações georreferenciadas dos seguintes equipamentos urbanos: estações de embarque e desembarque, faixas de pedestre, travessias elevadas, OAE, dispositivos semafóricos e dispositivos de acessibilidade. A categoria pavimento é composta por dados relacionados a avaliação visual da superfície de rolamento do pavimento exclusivo para os ônibus do corredor. Por fim, a categoria percepção do usuário é composta pelas respostas do questionário de avaliação do STPU aplicado aos usuários do mesmo.

3.3.1 Modelagem das bases de dados

A partir das variáveis coletadas, elaborou-se uma base de dados que contém 675 observações. Destas, 350 estão relacionadas aos dispositivos de infraestrutura existentes e 215 relacionadas à condição visual do pavimento ao longo do corredor. As outras 110 observações são associadas à percepção do usuário em relação ao STPU local. Todas essas observações foram georreferenciadas em SIRGAS2000 e representadas na projeção UTM (Universal Transversa de Mercator). Deste modo, a base de dados modelada serviu como instrumento para a aplicação de técnicas de AE e Geoestatística, bem como para compreensão e avaliação da dinâmica de mobilidade urbana da área de estudo.

As observações associadas a infraestrutura e ao pavimento do corredor de ônibus foram coletadas de modo pontual e desagregado, por meio da utilização de receptores GNSS. Desta forma, em um primeiro momento, estas 565 observações (350 de infraestrutura e 215 de pavimento) foram agregadas por meio de classificação supervisionada em 12 segmentos equidistantes que correspondem ao espaço geográfico entre as estações de embarque e desembarque consecutivas no corredor. Optou-se por realizar essa segmentação a fim de se analisar, posteriormente, a autocorrelação especial das observações.

As informações relacionadas à percepção do usuário sobre o STPU foram coletadas por meio da aplicação de um questionário online. As respostas, individuais e anônimas, foram categorizadas em dois segmentos: aspectos sociodemográficos e aspectos subjetivos, os quais representam, respectivamente, a caracterização dos usuários do sistema de transporte e suas opiniões em relação ao funcionamento do mesmo. A análise da percepção dos usuários foi analisada de forma paralela às demais variáveis coletadas.

3.3.2 Aplicação da análise de autocorrelação espacial

O segundo recurso associado a AE e Geoestatística utilizado neste trabalho foi a autocorrelação espacial. Para se avaliar a dependência espacial das variáveis de infraestrutura e condição do pavimento do corredor de ônibus, a base de dados criada foi transferida para o software *PAST 3.0*, onde foi realizada a análise de autocorrelação espacial por meio do gráfico de Moran (PAST, 2017).

O procedimento realizado para a análise das duas categorias de variáveis foi o mesmo. Em um primeiro momento, foram inseridas as informações da base de dados no software. Feito isso, selecionou-se a opção “*Geometry*”, em seguida a opção “*Points with Z values (2D + Z)*”, e em seguida, a opção “*Spatial Autocorrelation*”. Assim, automaticamente, o *software* criou os

gráficos de Moran e realizou a análise de autocorrelação espacial das observações. Primeiramente, analisou-se a autocorrelação espacial das observações relacionadas aos equipamentos de infraestrutura.

Desta maneira, foram gerados seis gráficos de Moran para cada equipamento de infraestrutura do corredor, analisados pontualmente ao longo do eixo do mesmo. Em seguida, foram gerados os gráficos de Moran para as observações relacionadas à condição do pavimento da via exclusiva para ônibus. Deste modo, foram gerados 9 gráficos, cada um associado ao grau de autocorrelação espacial de uma das 9 categorias observadas ao longo do eixo do corredor. Os gráficos, bem como considerações e discussões acerca dos mesmos, encontram-se expostos na próxima seção deste trabalho.

3.3.3 Aplicação da árvore de decisão

O primeiro recurso vinculado a AE e a Geoestatística utilizado neste trabalho foi a elaboração de uma árvore de decisão associada às variáveis de infraestrutura e ao pavimento do corredor. Deste modo, foram montadas duas árvores de decisão no software de análise estatística *IBM SPSS Statistics* versão 22 (IBM SPSS, 2020). A Tabela 1 apresenta as principais considerações para se construir cada árvore.

A primeira árvore foi gerada levando em consideração as observações de infraestrutura. Nela, observou-se a existência ou não existência de elementos estruturais do corredor de ônibus analisado ao longo dos 12 trechos segmentados e georreferenciados. Assim, foram analisadas as seguintes variáveis: estações de embarque e desembarque (EST), faixa de pedestre (FP), travessia elevada (TE), dispositivos semafóricos (DS), dispositivos de acessibilidade (DA) e OAE.

Tabela 1 – Características básicas de cada árvore de decisão.

Árvore 1 – Infraestrutura		Árvore 2 - Pavimento	
Variáveis analisadas	EST	Variáveis analisadas	Qualidade visual do pavimento
	FP		Trincas e fissuras
	TE		Conforto de rolamento
	DS		Afundamento de trilha de roda
	DA		Acúmulo de água
	OAE		Exudação
			Segregação
			Desnívelamento
			Panelas
Tipo de análise	Existência ou Não existência	Tipo de análise	Peso numérico

A segunda árvore de decisão foi gerada a partir das observações relacionadas ao pavimento da faixa exclusiva de ônibus (DNIT, 2003). Nela, computou-se uma escala numérica de severidade associada a diversas manifestações patológicas do pavimento (Tabela 1), ao longo dos 12 trechos segmentados e georreferenciados. A Tabela 2 apresenta a escala de pesos utilizada neste trabalho.

Tabela 2 – Escala de pesos para avaliação das manifestações patológicas no pavimento.

Peso	Parâmetro	Considerações
0	Inexistente	Não foram observadas patologias do tipo
1	Péssimo	Grande quantidade e severidade de patologias do tipo
2	Ruim	Grande quantidade de patologias do tipo
3	Regular	Média quantidade de patologias do tipo
4	Bom	Pouca quantidade de patologias do tipo
5	Ótimo	Pavimento recém construído

Para a calibração do modelo das duas árvores de decisão, optou-se pelo algoritmo de construção de redes CART e pela métrica de refinamento GINI. Além disso, foi estabelecido que a árvore contaria com 50 nós progenitores e 1 nó filho. Todas as variáveis foram inseridas no software como ordinais e selecionou-se a validação cruzada de dados durante o processamento da árvore. Estes recursos possibilitaram maximizar a homogeneização dos nós, reduzir a quantidade de erros e aumentar a abrangência da classificação das observações. As árvores, bem como suas análises e considerações sobre os resultados obtidos em sua modelagem são apresentadas na seção 4 deste trabalho.

3.3.4 Análise da percepção do usuário

A análise da percepção do usuário se deu por meio do estudo das respostas do questionário aplicado, elaborado após revisão da literatura sobre questionários aplicados a estudos de transporte. Estas foram segmentadas em duas categorias distintas de classificação: aspectos sociodemográficos e opiniões/preferências pessoais dos usuários. Em relação aos aspectos sociodemográficos, foram elaboradas perguntas associadas a renda, escolaridade, gênero, frequência de utilização, e faixa etária dos usuários do corredor.

Já em relação à opinião pessoal dos usuários, foram elaboradas perguntas relativas a como os mesmos percebiam a funcionalidade do STPU local em termos gerais de segurança, efetividade, rapidez, conforto e tarifação. Contabilizou-se um total de 110 respostas, as quais foram analisadas em termos de porcentagens relativa à quantidade de usuários. Estas respostas foram sintetizadas na forma de gráficos e tabelas, que serão expostos na próxima seção deste trabalho.

3.3.5 Espacialização das observações

A última etapa do procedimento metodológico deste trabalho se configurou como sendo a espacialização das observações coletadas. Realizou-se este procedimento com o objetivo de facilitar a compreensão de como o corredor de ônibus se estrutura espacialmente e como as observações relacionadas a infraestrutura e pavimento se desenvolvem ao longo dos 6 km de extensão da Avenida Segismundo Pereira.

A espacialização das informações foi realizada por meio do software *QGIS 3.4.6* (QGIS, 2019) e no software *PAST 3.0* (PAST, 2017). No ambiente digital do *QGIS 3.4.6*, foram modelados seis mapas de localização pontual dos elementos de infraestrutura do corredor. Já no *PAST 3.0*, foi gerada uma matriz georreferenciada de severidade para a qualidade do pavimento exclusivo para ônibus nos 12 trechos equidistantes. Os mapeamentos, a matriz e discussões sobre os mesmos encontram-se expostos na próxima seção deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação do procedimento metodológico proposto neste trabalho. Além disso, também serão expostas discussões e inferências sobre os mesmos dentro do cenário da Engenharia de Transporte e do planejamento urbano inteligente, em sintonia com os objetivos deste trabalho.

4.1 Análise da autocorrelação espacial entre as observações

A autocorrelação espacial entre os dados coletados foi calculada para as observações relacionadas aos equipamentos de infraestrutura e para as observações associadas ao pavimento do corredor de ônibus. Desta maneira, foram gerados gráficos de dispersão do Índice de Moran para cada uma das classes de variáveis, de modo a ser possível identificar a correlação ou ausência da mesma.

4.1.1 Autocorrelação espacial dos equipamentos de infraestrutura

A análise da autocorrelação espacial dos elementos de infraestrutura do corredor de ônibus se deu por meio do estudo do Índice de Moran entre os mesmos. Assim, os gráficos apresentados nas Figuras 3 a 8 representam o cálculo de IM para cada uma das seis classes de variáveis que compuseram as observações relacionadas aos equipamentos de infraestrutura do corredor.

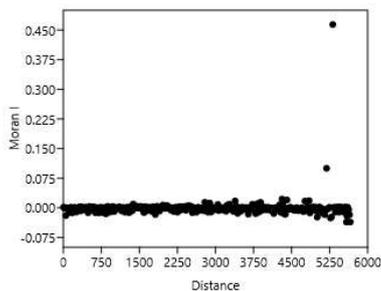


Figura 3 – Autocorrelação das estações de embarque e desembarque.

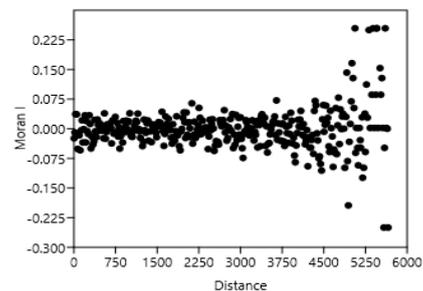


Figura 4 – Autocorrelação das faixas de pedestre.

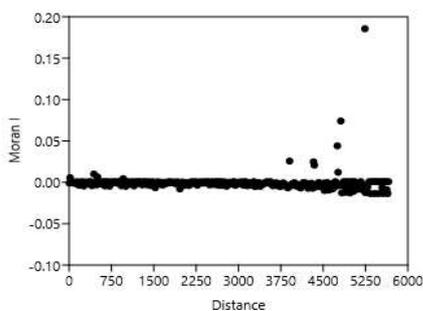


Figura 5 – Autocorrelação das travessias elevadas.

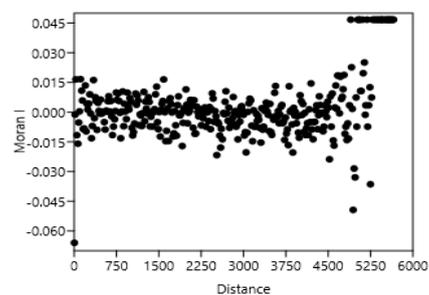


Figura 6 – Autocorrelação dos dispositivos semafóricos.

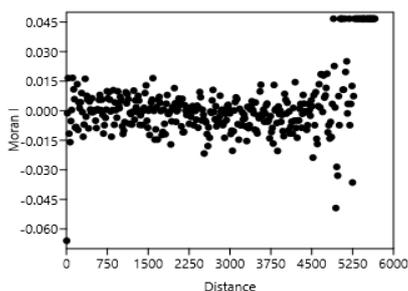


Figura 7 – Autocorrelação dos dispositivos de acessibilidade.

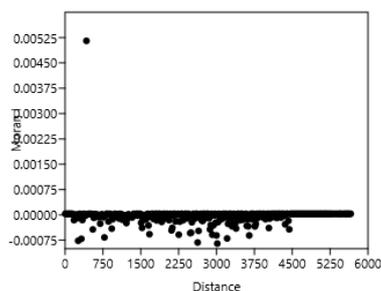


Figura 8 – Autocorrelação das Obras de Arte Especiais.

Nos gráficos (Figuras 3 a 8) representados, o IM é analisado de modo numérico e visual. Numericamente, todos os valores calculados encontraram-se dentro do intervalo fechado $[-1; 1]$, indicando que para as seis tipologias de elementos de infraestrutura analisados existe uma relação lógica espacial. Visualmente, a autocorrelação é observada nos gráficos onde existe uma maior dispersão entre os pontos das observações, ao longo da distância de 6 km, ou seja, ao longo do eixo do corredor de ônibus. Desta maneira, pôde-se observar a existência de autocorrelação espacial entre os dispositivos semafóricos, os dispositivos de acessibilidade e as faixas de pedestre. Já para as estações de embarque e desembarque, travessias elevadas e OAE, não possível observar autocorrelação espacial entre suas localizações.

Neste sentido, pode-se afirmar que a distribuição geográfica das faixas de pedestre, dos dispositivos semafóricos e dos dispositivos de acessibilidade é preponderantemente homogênea ao longo dos 6 km de extensão do corredor de ônibus. Todavia, as travessias elevadas, OAE e estações não se encontram distribuídas de modo homogêneo no espaço geográfico analisado.

4.1.2 Autocorrelação espacial da condição superficial do pavimento

De modo análogo, as observações associadas à condição superficial do pavimento também foram analisadas por meio da representação gráfica do IM. Os gráficos apresentados nas Figuras 9 a 17 ilustram esse estudo. Para sua elaboração, foram analisados os pesos numéricos referentes a condição visual do pavimento nas seguintes categorias: qualidade visual do pavimento, trincas e fissuras, afundamento de trilha de roda, segregação, exudação, acúmulo de água, painelas, desnivelamento e conforto de rolamento (DNIT, 2003).

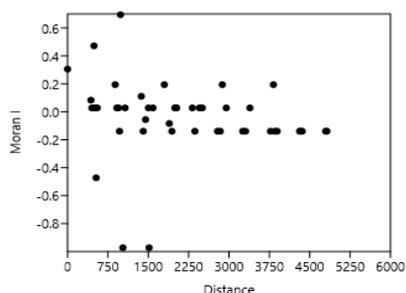


Figura 9 – Autocorrelação da qualidade visual do pavimento.

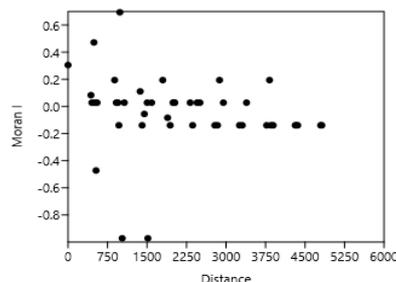


Figura 10 – Autocorrelação do conforto de rolamento.

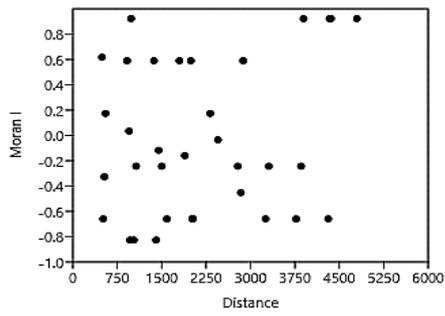


Figura 11 – Autocorrelação das trincase fissuras.

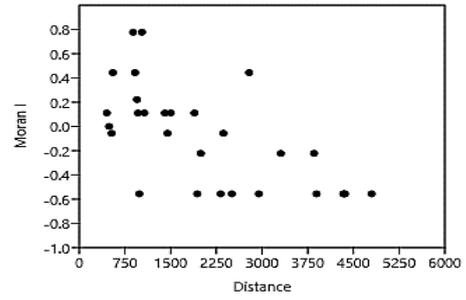


Figura 12 – Autocorrelação do afundamento de trilha de roda.

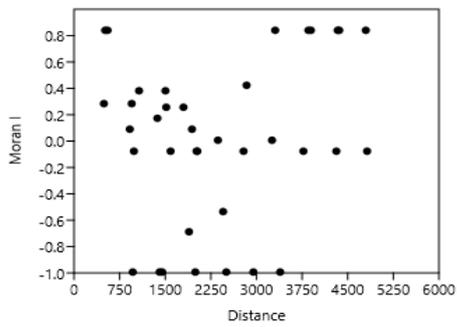


Figura 13 – Autocorrelação das painéis.

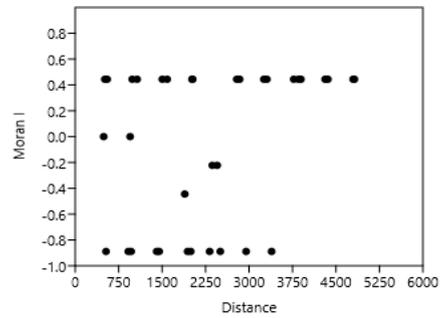


Figura 14 – Autocorrelação da segregação.

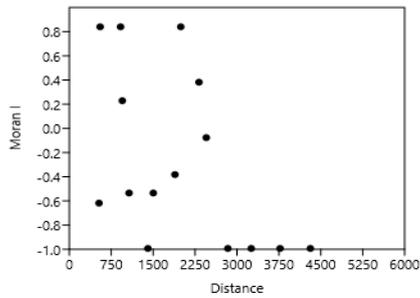


Figura 15 – Autocorrelação da exudação.

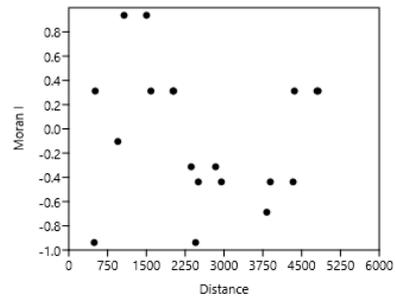


Figura 16 – Autocorrelação do acúmulo de água.

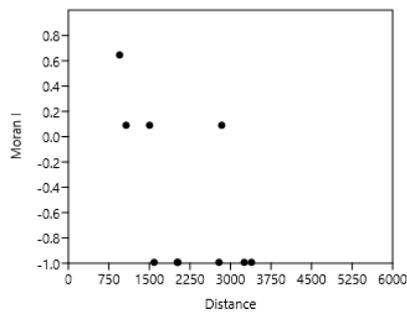


Figura 17 – Autocorrelação do desnivelamento.

Com base nos gráficos, apresentados nas Figuras 9 a 17 pôde-se observar que houve autocorrelação espacial entre as classes “qualidade visual do pavimento” e “conforto de rolamento”. Para as demais variáveis, não foi possível identificar relação de lógica espacial por meio do cálculo do IM, de modo a não ser razoável a associação de ocorrência e severidade dos mesmos com sua localização.

4.2.1 Árvore de decisão para equipamentos de infraestrutura

A primeira árvore de decisão gerada foi relativa aos equipamentos de infraestrutura do corredor de ônibus (Apêndice B). A árvore em questão analisou a importância das variáveis associadas a estes equipamentos para o funcionamento do ST, de modo a serem analisadas cinco variáveis: Travessias Elevadas (TE), Faixas de Pedestre (FP), Dispositivos Semafóricos (DS), Dispositivos de Acessibilidade (DA), Obras de Arte Especiais (OAE), que foram classificadas em 12 segmentos equidistantes. O Gráfico apresentado na Figura 18 ilustra a importância de cada variável para o modelo gerado.

Observou-se que, para o caso das observações associadas a infraestrutura do corredor de ônibus, os dispositivos semafóricos, as faixas de pedestre, as travessias elevadas e os dispositivos de acessibilidade exercem maior influência no funcionamento do STPU local, correspondendo à 100,00%, 96,9%, 92,6% e 91,2%, respectivamente. As OAE, por sua vez, possuem menor influência, configurando apenas com 39,3% de importância para o funcionamento do corredor.

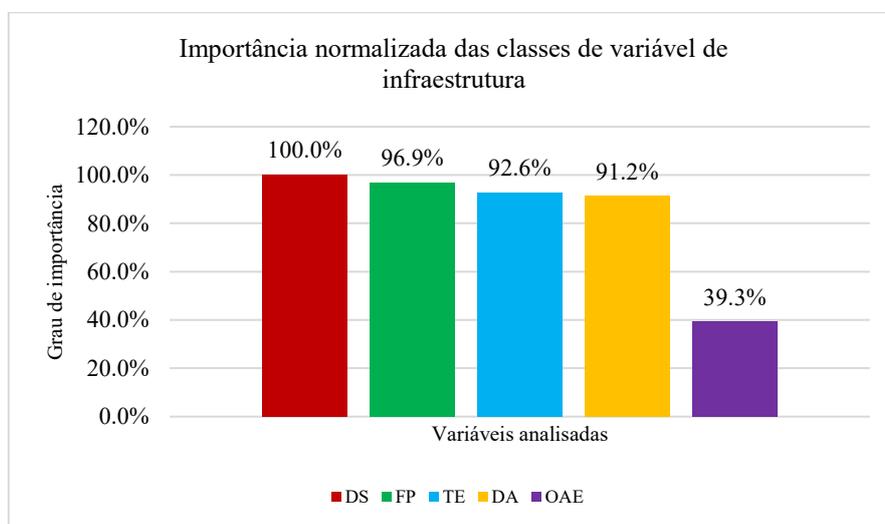


Figura 18 – Importância normalizada das classes de variáveis associadas as observações de infraestrutura.

4.2.2 Árvore de decisão para qualidade do pavimento

Em relação às observações associadas à manifestações patológicas e qualidade do pavimento do corredor de ônibus, foi gerada uma outra árvore de decisão (Apêndice C). Esta foi estruturada com 12 nós e analisou a influência das variáveis de qualidade do pavimento para o funcionamento do STPU existente na Avenida Segismundo Pereira, ao longo de 12 trechos equidistantes. O gráfico ilustrado na Figura 19 apresenta os valores calculados.

Observou-se que afundamento de trilha de roda, exudação e panelas foram as variáveis que mais exercem influência na condição de qualidade do pavimento, possuindo importância de 100,00%, 96,10% e 97,50% respectivamente para o modelo. Panelas e acúmulo de água, respectivamente, uma importância de 72,00% e 71,90%, se assegurando também como elementos importantes para a qualidade do pavimento analisado. Por fim, desnivelamento, conforto de rolamento, qualidade visual do pavimento e segregação apresentaram uma importância de 52,20%, 50,90%, 50,90% e 37,50% respectivamente.

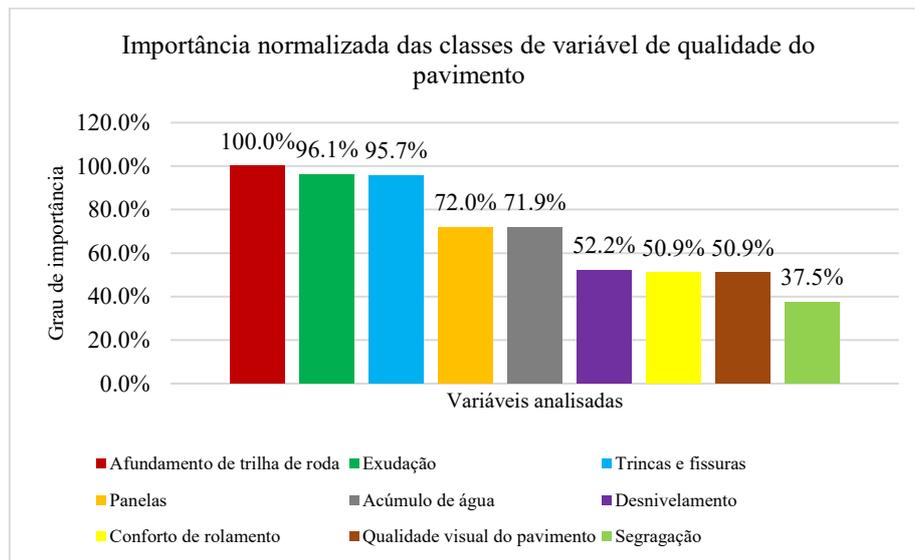


Figura 19 – Importância normalizada das classes de variáveis associadas as observações de qualidade do pavimento.

4.3 Espacialização das informações

A fim de se analisar como o STPU estudado se configura ao longo do espaço geográfico, foram elaborados mapas de localização para as observações de infraestrutura e uma matriz georreferenciada de densidade para as observações de pavimento. Desta maneira, foram gerados 5 mapas de localização (Figuras 20 a 25) e 1 matriz georreferenciada (Figura 26).

Em relação à localização dos elementos de infraestrutura do corredor, percebeu-se que as estações de embarque e desembarque se encontram distribuídas de modo aproximadamente equidistante (Figura 20). Foram registradas 11 estações com uma distância aproximada de 200 metros entre si. Por sua vez, quanto às faixas de pedestre, foram contabilizadas 173, sendo 89 no sentido Norte e 84 no sentido Sul (Figura 21). Também foram contabilizados 76 dispositivos semafóricos, sendo 37 no sentido Norte e 39 no sentido sul (Figuras 22 e 23), bem como 76 dispositivos de acessibilidade (aparelhos sonoros e táteis para mudança de fase do semáforo), distribuídos de forma idêntica aos semáforos (Figura 24). Observou-se também que todas as interseções semaforizadas possuíam faixa de pedestre e dispositivos de acessibilidade.

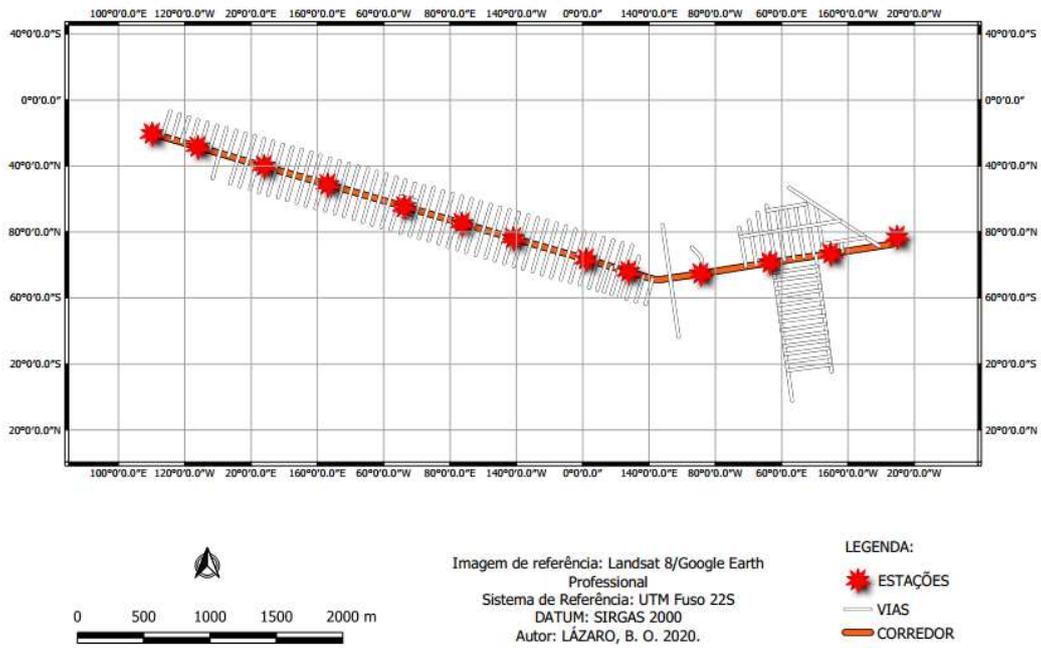


Figura 20 – Localização das estações de embarque e desembarque.

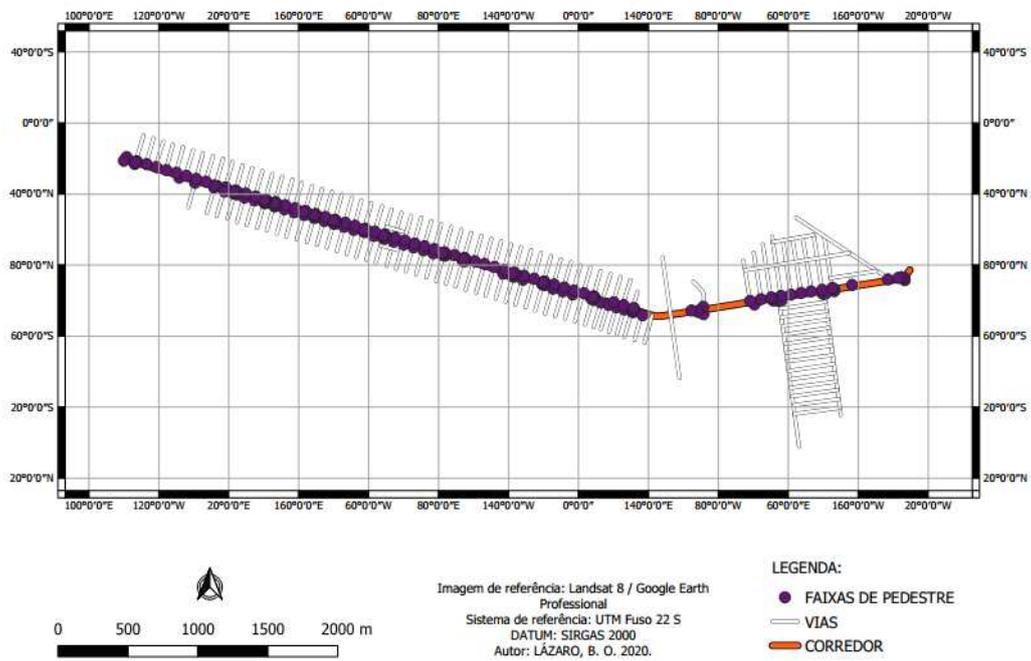


Figura 21 – Localização das faixas de pedestre.

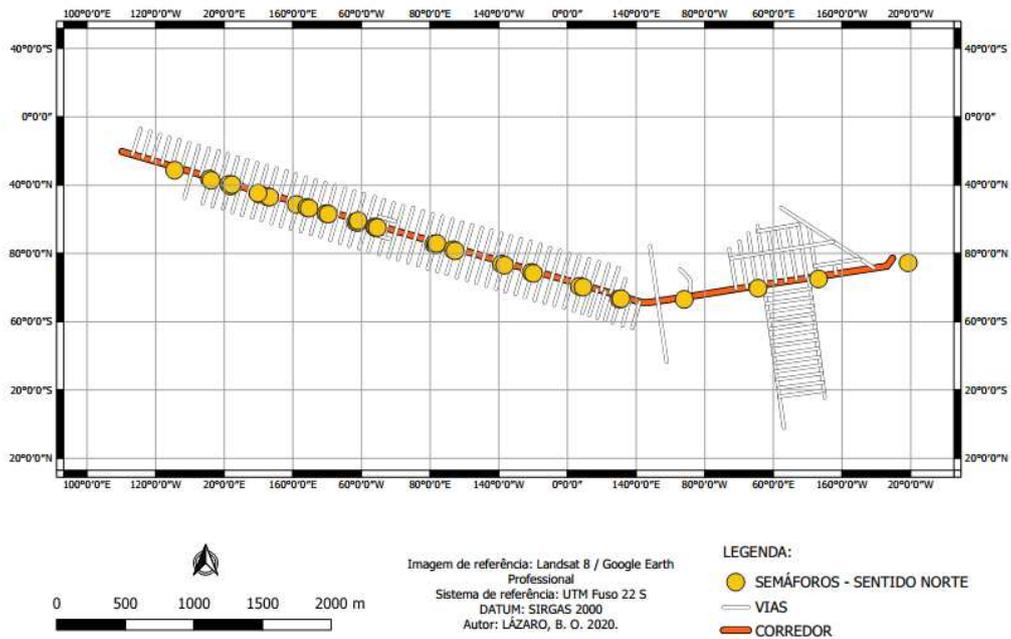


Figura 22 – Localização dos dispositivos semafóricos no sentido Norte.

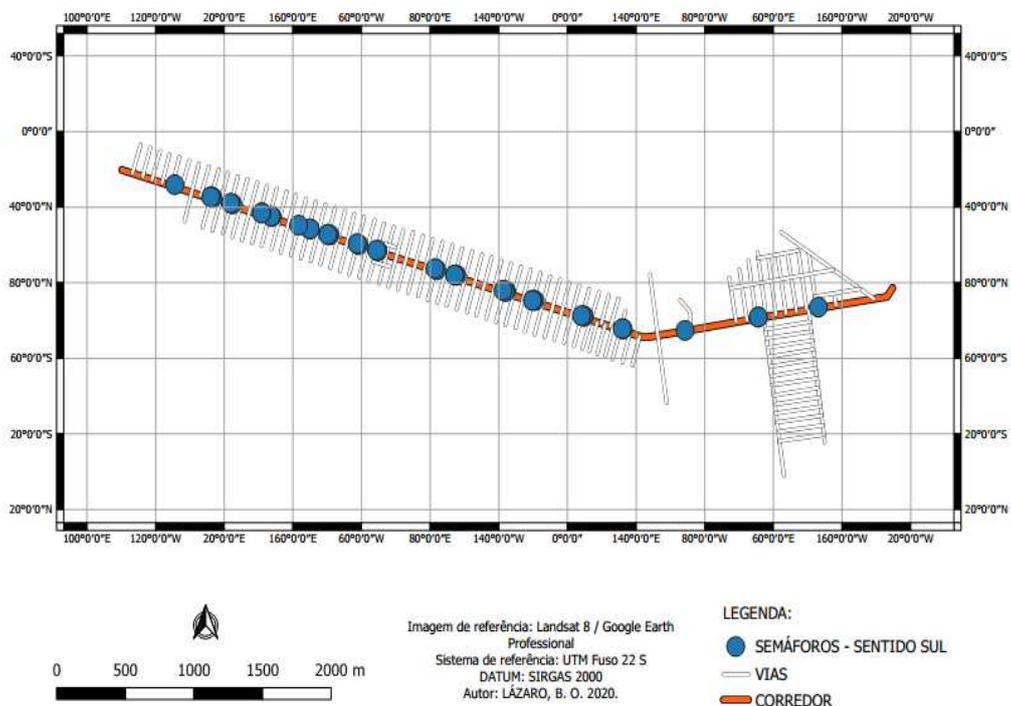


Figura 23 – Localização dos dispositivos semafóricos no sentido Sul.

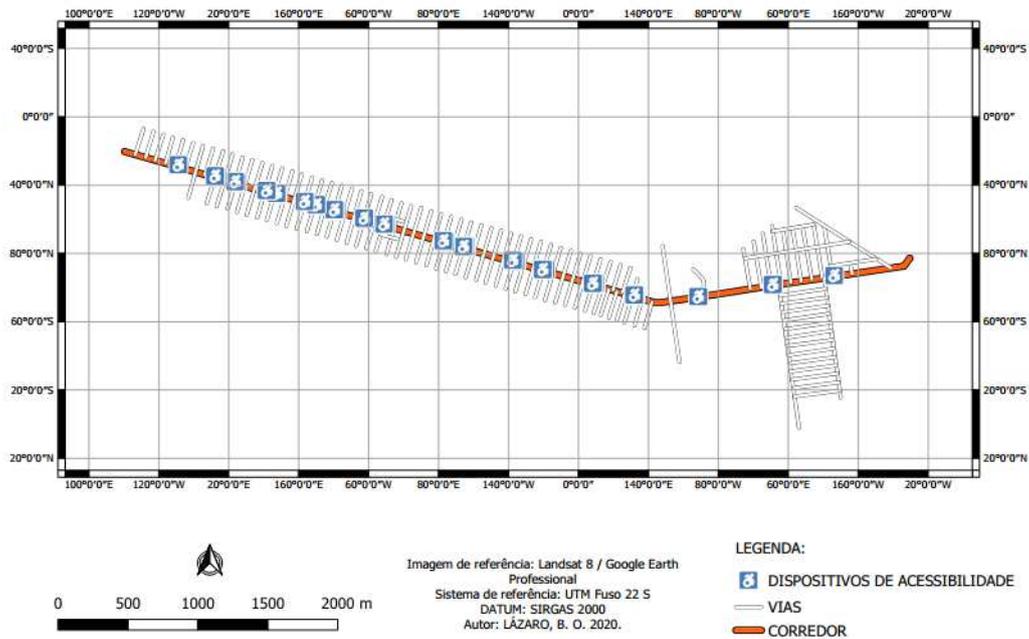


Figura 24 – Localização dos dispositivos de acessibilidade.

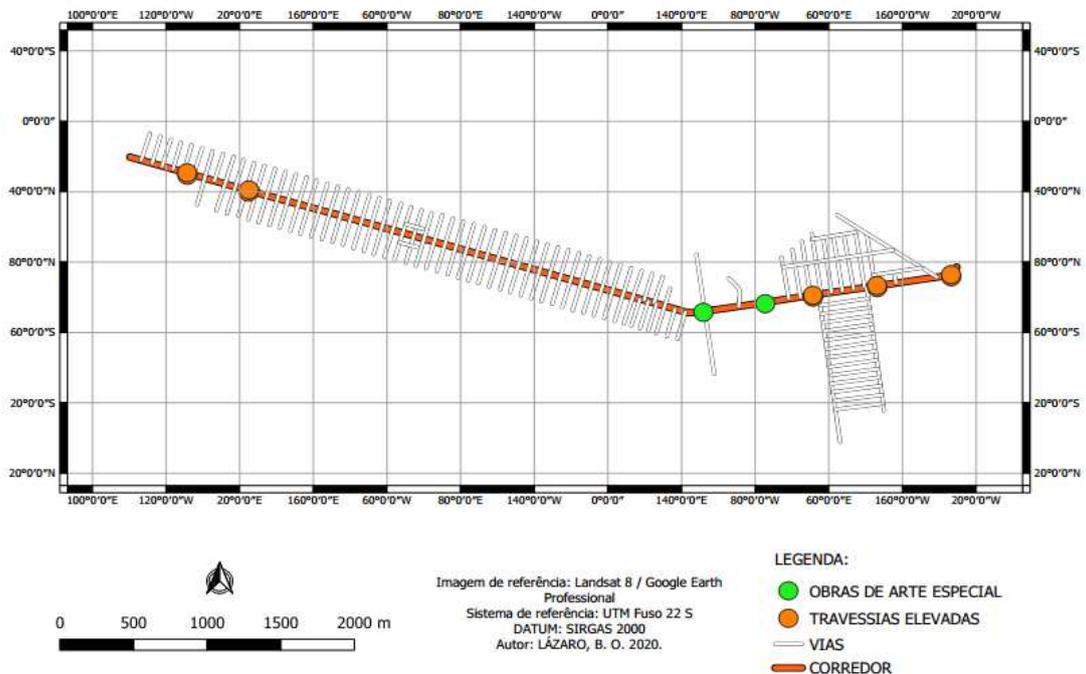


Figura 25 – Localização as travessias elevadas e OAEs.

No que diz respeito às travessias elevadas, foram registradas 10 ao longo do eixo do corredor, sendo 5 no sentido Norte e 5 no sentido Sul (Figura 25). Por fim, foram contabilizadas 2 OAEs, sendo 1 viaduto e 1 ponte sobre linha férrea (Figura 25). Foi possível observar que

tanto as travessias elevadas quanto as OAEs encontram-se distribuídas de modo heterogêneo no ambiente urbano local.

No que diz respeito à espacialização das observações relacionadas à qualidade do pavimento, optou-se por montar uma matriz de densidade (Figura 26) que representasse o grau de severidade de cada manifestação patológica e observação registrada. Desta forma, a matriz foi construída de modo a representar, em seu eixo horizontal, as manifestações encontradas e, em seu eixo vertical, representar os 12 trechos equidistantes.

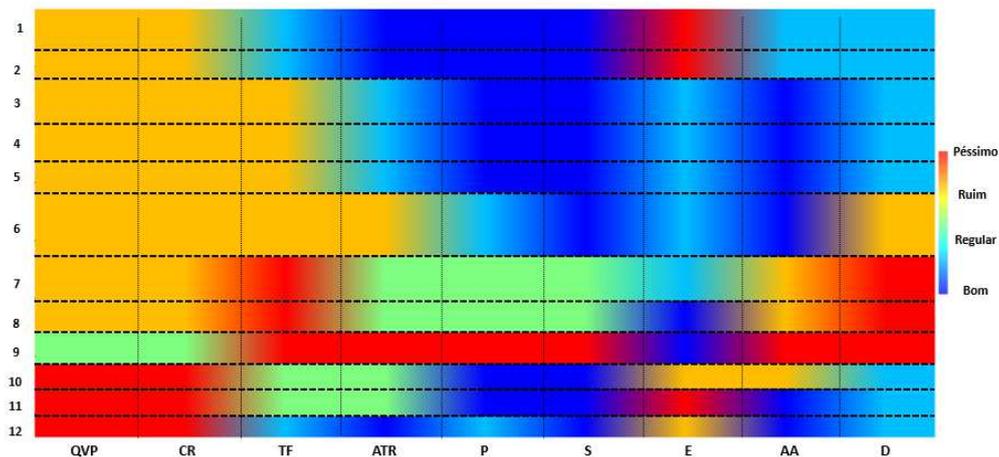


Figura 26 – Matriz de análise da qualidade do pavimento.

Para a construção da matriz (Figura 26), foram observadas as seguintes manifestações patológicas e condição do pavimento: Qualidade Visual do Pavimento (QVP), Trincas e Fissuras (TF), Afundamento de Trilha de Roda (ATR), Segregação (S), Exudação (E), Acúmulo de Água (AA), Conforto de Rolamento (CR), Desnívelamento (D) e Panelas (P). Com a representação gráfica da matriz (Figura 26), pôde-se observar que o pavimento do corredor exclusivo de ônibus da Avenida Segismundo Pereira possui grande variação de qualidade. O trecho 9 (compreendido entre a estação 8 e estação 9) foi identificado como sendo o mais crítico devido à grande quantidade de manifestações patológicas com elevado grau de severidade. Os trechos 3, 4 e 5, por sua vez, foram identificados como os com melhor condição de pavimento.

4.4 Percepção do usuário sobre o sistema de transporte

Para o estudo da percepção do usuário sobre o STPU existente na Avenida Segismundo Pereira, optou-se por segmentar as respostas do questionário online aplicado aos usuários em três aspectos: Sociodemográficos, Geração de viagens e Opinião sobre o sistema. Desta maneira, foram geradas três tabelas que caracterizam a população que utiliza o corredor, bem como suas preferências e opiniões pessoais sobre seu funcionamento e desempenho.

No que diz respeito aos aspectos sociais e demográficos dos usuários do sistema, a Tabela 3 apresenta uma síntese sobre a caracterização dessa população. Observou-se que a maior parte dos usuários do corredor de ônibus são do gênero masculino e integrantes da faixa etária entre 21 e 40 anos, caracterizando assim uma população jovem.

Tabela 3 – Caracterização social e demográfica dos usuários do STPU.

ASPECTOS SOCIODEMOGRÁFICOS		
Variável	Categoria	Porcentagem (%)
Gênero	Masculino	58,20
	Feminino	41,80
	Outro	0,00
Faixa etária	Menos de 20 anos	22,70
	Entre 21 e 40 anos	70,00
	Entre 41 e 60 anos	4,50
	Mais de 61 anos	2,70
Escolaridade	Ensino fundamental incompleto	0,90
	Ensino fundamental completo	1,80
	Ensino médio incompleto	0,90
	Ensino médio completo	2,70
	Graduação incompleta	75,50
	Graduação completa	3,60
Ocupação laboral	Pós-graduação	14,50
	Estudante	70,00
	Aposentado	3,60
	Trabalhador CLT	14,50
	Desempregado	3,60
	Autônomo	3,60
Faixa de renda mensal média	Outro	4,70
	Até 1 salário mínimo	26,40
	Entre 1 e 3 salários	29,10
	Entre 3 e 5 salários	8,20
	Mais de 5 salários	8,20
Frequência de uso do STPU	Sem rendimento	28,20
	Sempre	45,50
	As vezes	34,50
	Raramente	16,40
Motivo de uso do STPU	Nunca	3,60
	Trabalho	23,60
	Estudo	55,50
	Lazer	9,10
	Saúde	0,00
Gasto médio mensal com transporte	Outros	11,80
	Até R\$200,00	90,00
	Entre R\$200,00 e R\$300,00	10,00
	Mais de R\$300,00	0,00

Em relação a ocupação laboral e escolaridade, a maioria dos usuários possuem graduação incompleta ou ainda são estudantes. No que diz respeito à renda, observou-se que os maiores grupos de usuários não possuem renda mensal ou possuem renda de até 3 salários mínimos mensais. Além disso, também pôde-se observar que a maioria dos usuários assinalou que sempre utiliza o corredor, principalmente para estudo e trabalho, e possuem um gasto mensal de até R\$200,00 com transporte.

A Tabela 4 apresenta a caracterização de geração de viagens pelas estações ao longo do corredor estudado. Em relação a geração de viagens, observou-se que a maior parte dos usuários do corredor não embarca, diretamente, em uma estação existente ao longo da Avenida Segismundo Pereira. Todavia, a maioria dos usuários realiza seu desembarque na estação 1, em frente à Universidade Federal de Uberlândia campus Santa Mônica.

Tabela 4 – Geração de viagens ao longo do corredor.

Estação	Quantidade embarque (%)	Quantidade desembarque (%)
1	26,40	30,00
2	3,60	5,50
3	6,40	4,50
4	2,70	4,50
5	2,70	6,40
6	8,20	8,20
7	7,30	2,70
8	3,60	1,80
9	1,80	0,00
10	0,00	0,00
11	0,00	0,90
Terminal Novo Mundo	5,50	6,40
Outro	31,80	29,10
TOTAL	100,00	100,00

Por fim, a Tabela 5 apresenta uma síntese das opiniões individuais dos usuários que responderam o questionário online sobre o corredor de ônibus. Em relação às opiniões dos usuários, pôde-se perceber que a maioria dos mesmos elencou como boa ou regular a qualidade, conservação e a acessibilidade dos veículos. Além disso, a maioria dos usuários também avaliaram como bom ou regular a quantidade e distância das estações, a qualidade do pavimento do corredor, o comportamento dos motoristas, o trajeto percorrido pelos veículos e o tempo de espera nas estações.

Tabela 5 – Percepção subjetiva e individual do usuário sobre o STPU.

ASPECTOS DE PERCEPÇÃO DO SISTEMA				
Situação analisada pelo usuário	Grau de percepção do usuário (%)			
	Ótimo	Bom	Regular	Ruim
Qualidade e conservação dos ônibus	2,70	40,90	45,50	10,90
Acessibilidade dos ônibus	7,30	43,60	38,20	10,90
Segurança dentro do ônibus	1,80	15,50	48,20	35,50
Conforto dentro do ônibus	0,90	10,90	47,30	40,90
Comportamento de motoristas	13,60	46,40	34,50	5,50
Tempo de espera nas estações	3,60	38,40	38,20	20,00
Distância entre as estações	19,10	44,50	29,10	7,30
Quantidade de estações	25,50	49,00	20,00	5,50
Tarifa cobrada pelo serviço	0,90	6,40	29,10	63,60
Trajeto percorrido	25,50	54,50	18,20	1,80
Qualidade do pavimento do corredor	19,10	47,30	27,30	6,30
Existência de um corredor exclusivo	63,60	27,30	7,30	1,80

Ademais, quando questionados sobre a existência do corredor exclusivo de ônibus, a maioria dos usuários a elencaram como ótima ou boa. Por fim, grande parte dos usuários

assinalaram com regular ou ruim a segurança dentro dos ônibus e o valor da tarifa cobrada pelo serviço ofertado pelo STPU estudado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito aos equipamentos de infraestrutura do corredor de ônibus, concluiu-se que para o período analisado os mesmos se encontravam bem distribuídos ao longo do eixo de 6 km. Todavia, percebeu-se uma distribuição heterogênea de dispositivos semafóricos e travessias elevadas, o que pode influenciar no tráfego de veículos e na eficiência do ST local.

Numericamente, concluiu-se que a localização das estações, das travessias elevadas e das OAEs não sugerem correlação espacial. Em contrapartida, a localização dos dispositivos semafóricos, dos dispositivos de acessibilidade e das faixas de pedestre, apresentavam elevada correlação espacial, representando considerável importância para a modelagem do STPU.

Em relação à qualidade e a conservação do pavimento do corredor de ônibus, concluiu-se que o mesmo apresentava acentuadas manifestações patológicas em sua superfície, principalmente em regiões onde, presencialmente, foi observada elevada intensidade de tráfego de veículos pesados (como, por exemplo, no trecho 9). Todavia, no geral, o pavimento encontrava-se razoavelmente bem conservado e não aparentava influenciar de modo significativo no funcionamento do STPU.

Quanto à localização das manifestações patológicas, pôde-se concluir que estas não possuíam correlação espacial entre si. Entretanto, foi observado que o afundamento de trilha de roda, as trincas e fissuras, a exudação, as placas e o acúmulo de água compreendiam patologias que influenciavam significativamente no funcionamento e modelagem do pavimento do corredor.

Além disso, concluiu-se que, de modo geral, os usuários do STPU estudado neste trabalho elencaram como potencialidades do corredor exclusivo a quantidade de estações, rota dos ônibus, distância entre estações e a própria existência do corredor. Entretanto, questões relacionadas à segurança e a tarifação foram elencadas, de forma geral, como ruins ou péssimas pelos usuários, o que sugere a necessidade por adequações e melhorias no ST, de acordo com a opinião dos usuários do corredor, visando à melhoria da mobilidade urbana.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam analisadas outras variáveis que possam influenciar no funcionamento do corredor de ônibus, tais como questões ambientais, culturais e econômicas, número de passageiros, número de viagens, bem como o Volume Diário Médio de Tráfego (VDM) de veículos que se deslocam no eixo. Com isso, seria possível criar uma base de dados que permitiria otimizar a modelagem dos processos que se desenvolvem no referido sistema de transporte, permitindo melhorar sua compreensão e estudo, de modo a sanar ou minimizar suas deficiências, bem como aperfeiçoar a mobilidade urbana local.

Por fim, sugere-se também que outros trabalhos sejam realizados utilizando diferentes abordagens metodológicas para a análise de dados derivados de sistemas de transporte coletivo por ônibus. Dentre estas, se destacam as técnicas de inteligência artificial baseadas em modelagens de dados em estruturas de redes, tais como as redes neurais artificiais, as redes bayesianas e as redes complexas, que permitem relacionar simultaneamente um maior número de variáveis no processo de modelagem de problemas de natureza complexa e multicausal, comumente evidenciados em transportes.

Por meio destas abordagens, é possível realizar estudos multidisciplinares no contexto da Engenharia de Transportes, que permitem detectar padrões, auxiliar no processo de tomada

de decisões, bem como prever cenários que variam no tempo e no espaço, em diferentes escalas, para os sistemas de transporte público urbano por ônibus nas cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ABELLAN, J.; LÓPEZ, G.; DE OÑA, J.; Analysis of traffic accidents severity using decision rules via Decision Trees. **Expert systems with applications**, v. 40, n. 15, p. 6047-6054, 2013.
- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J.; Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, volume 2, 2010.
- ANSELIN, L.; Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis** 27. n. 2, p. 93-115, 2002.
- BIVAND, R.; PEBESMA, E.; GOMÉZ-RUBIO, V.; **Applied spatial data analysis with R**. 1ª Edição. Editora Springer. 2008.
- BORGES, S.; GITIRANA, M.; FERREIRA, G.; MOURA, E.; ALCIDES, J.; ANTÔNIO, F.; GARCIA, J.; Multi-criteria analysis model to evaluate transport systems: An application in Florianópolis, Brazil. **Transportation Research Part A**, v. 96, p. 1–13, 2017.
- BRASIL. **Lei nº 12.587**, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências. Brasília, 2012.
- BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P. **Estatística básica**. São Paulo: Atual Editora, 2002.
- CHEBA, K.; SANIUK, S. Urban mobility – identification, measurement and evaluation. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 1230–1239, 2016.
- CHENG, Y.; CHEN, S. Perceived accessibility, mobility, and connectivity of public transportation systems. **Transportation Research Part A**, v. 77, p. 386–403, 2015.
- CHOWDHURY, S.; HADAS, Y.; GONZALEZ, V. A.; SCHOT, B. Public transport users' and policy makers' perceptions of integrated public transport systems. **Transport Policy**, v. 61, n. October 2017, p. 75–83, 2018.
- CHUERUBIM, M. L.; **Possibilidades em inteligência artificial na detecção de padrões e previsão de acidentes em rodovias**. Tese de Doutorado. USP-EESC, São Carlos-SP, 2019a.
- COSTA NETO, P.L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES – DNIT. Norma DNIT 008/2003 – PRO. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- EDWARDS, D.; GRIFFINS, T.; Understanding tourists' spatial behavior: GPS tracking as an aid to sustainable destination management. **Journal of sustainable tourism**, p. 1-16, 2013.
- GOMIDE, A. A.; Transporte urbano e inclusão social. **Revista dos Transportes Públicos**. São Paulo-SP, nº 103, p.15-48, 2004.
- GOOGLE EARTH PROFESSIONAL. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>. Acesso em: março, 2020.
- IBM SPSS STATISTICS. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/products/spss-statistics>>. Acesso em: agosto, 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Departamento de Geração de Imagens. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: Junho, 2020.
- JENSEN, J. J.; **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed.
- LAWSON, M. A new approach to effective and sustainable urban transport. **Proceedings of Transportation Board Research**. Washington, DC. 2003.
- LESSA, D. A.; LOBO, C.; CARDOSO, L. Accessibility and urban mobility by bus in Belo Horizonte / Minas Gerais – Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 77, n. May 2018, p. 1–10, 2019.
- LINDAU, L. A.; HIDALGO, D.; LOBO, A. A.; Barriers to planning and implementing bus rapid transit systems. **Research in Transportations Economics**, v. 30, p. 1-7. 2014.
- LINDENAU, M.; BÖHLER-BAEDEKER, S. Citizen and stakeholder involvement: a precondition for sustainable urban mobility. **Transportation Research Procedia**, v. 4, p. 347–360, 2014.

MCIDADES. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana. 2007.

MIRANDA, H. D. F.; MANCINI, M. T.; AZEVEDO FILHO, M. A. N. D.; ALVES, V. F. B.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. Barreiras para a implantação de planos de mobilidade. In: **XXIII ANPET – Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes**. p. 1-12. 2009.

MORALES, C. A.; MACEDO, M. H. Gestão integrada da Mobilidade Urbana. ANTP, **Cadernos Técnicos, Integração nos transportes públicos**, v. 5, 2007.

MUÑOZ, J. C.; HIDALGO, D.; Bus rapid transit as part of enhanced service provision. **Research in Transportation Economics**, v. 39, p.104-107, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Nova **Agenda Urbana**. 2017. Disponível em: < <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Angola.pdf>>. Acesso em: abril, 2020.

PAST. *Paleontological Statistics 3.0*. Software de análise estatística. Disponível para download em: < <https://folk.universitetetioslo.no/ohammer/past/>>. Acesso em: março, 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte. Corredores de ônibus. Disponível em: < <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/transito-e-transportes/corredores-de-onibus/>>. Acesso em: abril, 2020.

QGIS. *Quantum Gis 3.4.6 La Coruña*. Software de geoprocessamento. Disponível para download em: < https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em: março, 2020.

SATRIA, R.; CASTRO, M. GIS tools for analyzing accidents and road design:a review. **Transportation Research Procedia**, v. 18, n. June, p. 242–247, 2016.

SCHOENAU, M.; MÜLLER, M.; What affects our urban travel behavior? A GPS-based evaluation of internal and external determinants of sustainable mobility in Stuttgart (Germany). **Transportation Research Part F**, v.48, p. 61-73, 2017.

SILVA, C. Structural accessibility for mobility management. **Progress in Planning**, v. 81, p. 1–49, 2013.

SILVA, C.; BERTOLINI, L.; BRÖMMELSTROET, M.; MILAKIS, D.; PAPA, E. Accessibility instruments in planning practice: Bridging the implementation gap. **Transport Policy**, v. 53, n. September 2016, p. 135–145, 2017.

SOLÁ, A. G.; VILHELMSON, B.; LARSSON, A. Understanding sustainable accessibility in urban planning : Themes of consensus , themes of tension. **Journal of Transport Geography**, v. 70, n. January 2017, p. 1–10, 2018.

TOBLER, W. R.; A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. **Economic Geography**, v. 46, p. 234-240, 1970.

TSIOTAS, D.; POLYZOS, S. The topology of urban road networks and its role to urban mobility. **Transportation Research Procedia**, v.24, p. 482-490, 2017.

XU, W.; DING, Y.; ZHOU, J.; LI, Y. Transit accessibility measures incorporating the temporal dimension. **Cities**, v. 46, p. 55–66, 2015.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS

- 1) **Gênero:** () Masculino () Feminino () Outro
- 2) **Faixa etária:** () Menos de 20 () 21 a 40 anos () 41 a 60 anos () Acima de 61 anos
- 3) **Escolaridade:** () Fundamental Incompleto () Fundamental Completo () Ensino Médio Incompleto () Ensino Médio Completo () Graduação Incompleta () Graduação Completa
- 4) **Ocupação:** () Estudante () Autônomo/Profissional liberal () Profissional CLT () Aposentado () Desempregado
- 5) **Faixa de renda média:** () Até 1 salário mínimo () Entre 1 e 3 salários () Entre 3 e 6 salários () Mais de 6 salários () Sem rendimento financeiro
- 6) **Qual a frequência de utilização do corredor de ônibus?** () Sempre () As vezes () Quase nunca
- 7) **Qual o motivo pelo qual utiliza o corredor de ônibus?** () Trabalho () Estudo () Lazer () Saúde () Outros
- 8) **Qual o seu gasto médio mensal com as viagens de ônibus?** () Até R\$200,00 () Entre R\$200,00 e R\$300,00 () Mais de R\$300,00

ASPECTOS TÉCNICOS – ESTAÇÕES

- 1) **Em qual estação/terminal você embarca?**
- 2) **Em qual estação/terminal você desembarca?**
- 3) **Qual a quantidade de ônibus você pega para percorrer seu trajeto costumeiro?**
- 4) **O quão você está satisfeito com a conservação e estrutura das estações?** () Muito satisfeito () Satisfeito () Insatisfeito () Sem opinião
- 5) **Qual o maior problema enfrentado nas estações de embarque/desembarque no corredor de ônibus da Avenida Segismundo Pereira, em sua opinião?**

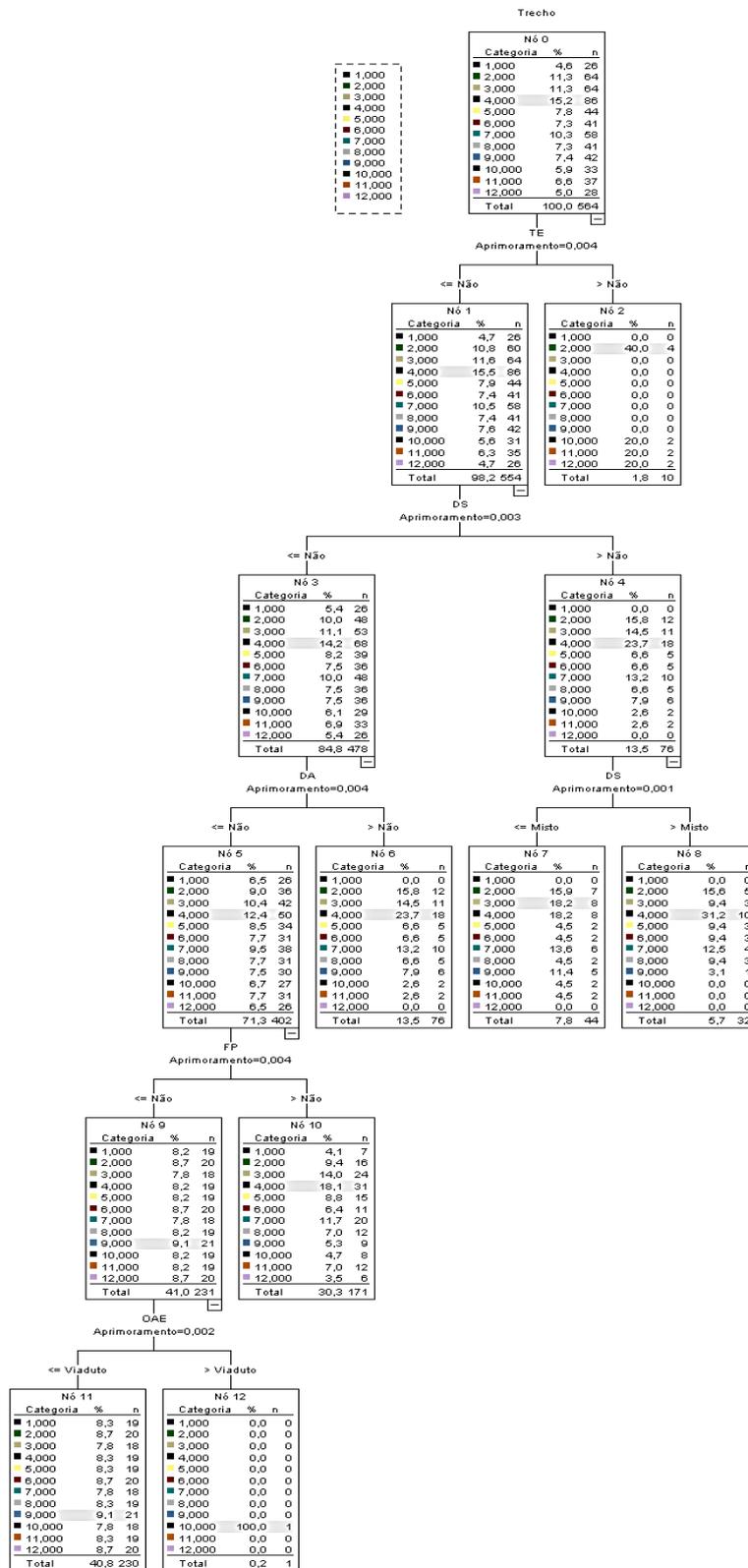
ASPECTOS TÉCNICOS – VEÍCULOS

- 1) **Qual sua opinião sobre a qualidade/conservação dos ônibus?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 2) **Qual sua opinião sobre a acessibilidade dentro dos ônibus?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 3) **Qual sua opinião a respeito da segurança ao passageiro dentro dos veículos?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 4) **Qual sua opinião sobre o conforto dos veículos?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 5) **Qual a sua opinião em relação ao comportamento de motoristas e cobradores?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo

ASPECTOS FUNCIONAIS – SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE

- 1) **Qual sua opinião sobre o tempo de espera dos ônibus nas estações?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 2) **Qual sua opinião sobre a distância entre as estações?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 3) **Qual sua opinião sobre o conforto e segurança das estações de ônibus?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 4) **Qual sua opinião sobre a quantidade de estações na Avenida Segismundo Pereira?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 5) **Qual sua opinião sobre a tarifa praticada pelo SIT?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 6) **Qual sua opinião sobre o trajeto percorrido pelos ônibus?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 7) **Qual sua opinião sobre a existência de uma via exclusiva para ônibus?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 8) **Qual sua opinião a respeito da qualidade do pavimento da via exclusiva?**
() Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo
- 9) **Você acha que deveriam haver mais vias exclusivas para ônibus na cidade?** () Sim () Não
- 10) **Você acha que a via exclusiva da Avenida Segismundo Pereira atende às necessidades de quem a utiliza de modo eficiente?** () Sim () Não
- 11) **Como você avalia as informações disponíveis sobre o corredor de ônibus (mapas, site, tabela de rotas etc)?** () Ótimo () Bom () Regular () Ruim () Péssimo () Não se aplica

Apêndice B – Árvore de decisão para observações de infraestrutura



Apêndice C – Árvore de decisão para observações de qualidade do pavimento

