
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**



**ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE AO ESPAÇO
URBANO POR PESSOA EM CADEIRA DE RODAS
EMPREGANDO TECNOLOGIAS DA
GEOINFORMAÇÃO**

Elaine Cristina Osorio Rocha

Recife

2016

Elaine Cristina Osorio Rocha

**ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE AO ESPAÇO URBANO POR
PESSOA EM CADEIRA DE RODAS EMPREGANDO TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá

Recife

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

- R681a Rocha, Elaine Cristina Osorio.
Análise da acessibilidade ao espaço urbano por pessoa em cadeira de rodas empregando tecnologias da geoinformação. / Elaine Cristina Osorio Rocha - 2016.
129 folhas, Il. Abr. e Sigl.

Orientadora: Profª Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2016.
Inclui Referências, Anexos e Apêndices.
1. Ciências Geodésicas. 2. Sistemas de geoinformação. 3. Modelagem de Dados Espaciais. 4. Rotas. 5. Acessibilidade. 6. Pessoa com deficiência motora.
- I. Marques de Sá, Lucilene Antunes Correia(Orientadora). II.Título.

UFPE

526.1CDD (22. ed.)

BCTG/2016 - 211

Elaine Cristina Osorio Rocha

**ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE AO ESPAÇO URBANO POR
PESSOA EM CADEIRA DE RODAS EMPREGANDO TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 12/07/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^o. Dr^o. José Luiz Portugal (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dra. Márcia Cristina de Souza Matos Carneiro (Examinador Externo)
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

A Deus, pela permissão de realizar o sonho do mestrado.
À minha mãe Acelina Osorio, por todo sacrifício e dedicação em prol da minha
felicidade e dos meus sonhos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Tenho anjos em minha vida!!! E cada um contribuiu de uma forma ímpar em cada linha dessa Dissertação.

Agradeço à Deus pela bênção da realização do mestrado e aos espíritos protetores por me guiarem durante esta caminhada.

À minha mãe por acreditar nos meus sonhos, pelo amparo, pelo amor e pela dedicação incondicional. Amo-te eternamente!!!!

À minha família pelo amor, pelo incentivo, pela torcida em cada conquista minha. E “Azamigas” de todas as horas Lorena, Luciane e Livia pela torcida e amizade.

À minha orientadora Profa Dra. Lucilene Antunes pela confiança, pelos ensinamentos, pelos desafios e pelos conselhos no decurso da pesquisa. Obrigada por me apresentar o universo das pessoas com deficiências, foi uma descoberta emocionante e instigante.

Ao prof. Dr. Luiz Portugal, profa. Dra Andrea Carneiro e Dra. Marcia Carneiro (IBGE-Recife) pelas ricas contribuições em cada Defesa.

À UFPE através do PPGCGTG, do DeCart e do corpo docente da Pós composto pelos professores Haroldo Marques, Silvio Jacks, Andrea Carneiro, Lucilene Antunes, Luiz Portugal, Daniel Carneiro, Ana Lúcia e João Rodrigues pelos ensinamentos e métodos apresentados durante as disciplinas e além da sala de aula que engrandeceram meus conhecimentos acadêmicos.

Aos demais professores do DeCart - UFPE, em especial, prof. Dr Cesário Lima e profa. Dra Malu Aquino pelo carinho e atenção à pesquisa e a mim.

À secretaria do DeCart pela atenção nos atendimentos e, especialmente, a secretária do PPGCGTG Elizabeth Galdino pelo carinho, simpatia, presteza e dedicação em cada momento que necessitei de seus serviços. À Dona Judite pelo ser humano bondoso, pela alegria e pela atenção de todos os dias.

Aos queridos parceiros da pós-graduação Gilmara, Anderson Reis, Emanuel (desde antes da seleção até o fim), Anderson Marcolino e Gleice pela recepção inicial. A Helder, Ester, Lilian, Silas, Ermerson, Rafael, Heithor e turma 2016.1 pela presteza, pela atenção e pelo carinho.

Aos parceiros de jornada das Turmas 2014.1 e 2014.2 (“Mestrado Zueira”) Raul, Alexandre, Henrique, Nicolas, Túllio, Ariely, Talita, Marcelo, Renan, Thomás e André pelo convívio, pela troca de conhecimentos, pelas alegrias e exemplos de vida. Vocês tornaram os obstáculos mais leves e os dias mais divertidos. Adoro vocês!!!!

Aos colegas da graduação em Engenharia Cartográfica (UFPE) pelo carinho, atenção, consideração e homenagem, em especial, Alex, Camila, Danny, Saulo, Lucas, Luan, Fernando, Rafael e Rony.

À UFPI nas pessoas do prof. Dr. Aderson e da profa. Dra. Sandra pelos dados cedidos a pesquisa e, profa Nícia pela atenção e pelos conhecimentos técnicos sobre acessibilidade e pessoas com deficiências. À AGESPISA através da Superintendência e da Gerência em Geoprocessamento pelos dados cedidos para a pesquisa, essenciais para o desenvolvimento da pesquisa e enriquecimento dos resultados.

À assessoria técnica de Felipe Dantas, laboratorista – geoprocessamento (IFPI) e ao consultor em geoprocessamento Anderson Medeiros. Aos bolsistas do PIBIC do curso de Tecnologia em Geoprocessamento Grenda e Felipe, Fabrício (curso Estradas), professores Ronildo e Israel, todos do IFPI, fundamentais nos trabalhos de coleta dos dados em campo.

Agradecimento mais que especial ao prof. MSc. Edilson Lívio (IFPI) pela orientação, pela riqueza de conhecimentos técnicos transmitidos, pela dedicação, pela paciência, pelos desafios e por acreditar em mim durante a elaboração do MDE. Eternamente grata!!!

À profa Dra Neide (UFRPE) pela atenção e recepção em sua casa durante a seleção para o Mestrado. À Lana, *Cherie*, Évora, Luciana, Dominique e Odamil pela acolhida, pelo lar, por toda ajuda, essenciais para minha estadia em Recife.

Agradeço ao prof. Dr. Giovanni Boggione (IFG) pela amizade, pela força durante as dificuldades e pela felicidade em cada conquista alcançada nas fases do Mestrado. A distância não diminuiu o carinho e a admiração mútuos. Estendo a um grupo de pessoas super carinhosas que entraram em minha vida, através do prof. Giovanni, na reta final da jornada e me conquistaram: Nay, Dantas, Leo, Marcio, Mi, Rafa, Rafão, Fê, Beca, Dai, Dani, Dudu, Andao, Drezim, Pablito e Edipo. Vocês são demais!!!

E ao IFPI pela concessão da licença que proporcionou as condições necessárias para a dedicação integral ao desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

As Tecnologias da Geoinformação como, a Cartografia e os Sistema de Informações Geográfica têm sido utilizados para análise da acessibilidade e mobilidade em espaços urbanos, permitem a criação de Banco de Dados Espaciais contendo informações sobre os elementos físicos para pessoas com deficiências e oferecem uma melhor percepção visual dos elementos através de mapas temáticos. Nas ações de planejamento ou ordenamento do espaço deve-se incluir estudos acerca da acessibilidade e mobilidade urbana analisando os diferentes componentes físicos do ambiente urbano (rampas, calçadas rebaixadas, obstáculos, entre outros) através da representação espacial. Nesse sentido, a pesquisa propõe uma Modelagem de Dados Espaciais capaz de integrar os elementos físicos para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas considerando os padrões da NBR 9050/2004, que estabelece critérios e parâmetros técnicos para acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. A pesquisa utilizou a metodologia OMT-G - Object Modeling Technique para criação do modelo, a implementação física foi realizada no PostgreSQL/PostGIS e a espacialização das classes e atributos do Banco de Dados Espaciais foi realizada através da conexão do PostgreSQL/PostGIS com o programa livre Quantum GIS. Os elementos foram avaliados qualitativamente e averiguados o cumprimento da legislação e os resultados apresentados em mapas temáticos e análise de rotas. A área de estudo foi o polo de saúde que fica localizado no bairro Centro, no município de Teresina, estado do Piauí. Os resultados demostram a capacidade da Modelagem de Dados Espaciais de representar os objetos do espaço urbano para acessibilidade. As consultas espaciais com cruzamento de variáveis possibilitaram uma análise qualitativa mais consistente da área de estudo apresentadas nos mapas temáticos. Os resultados demostraram a falta de acessibilidade e mobilidade no polo de saúde pela presença de obstáculos, diferenças de inclinação ao longo das calçadas, material construtivo inadequado e más condições físicas das calçadas, que inviabilizam o acesso de pessoas em cadeiras de rodas aos equipamentos de saúde de forma autônoma e segura.

Palavras-chave: Sistemas de Geoinformação, Modelagem de Dados Espaciais, Rotas, Acessibilidade, Pessoa com deficiência motora, Legislação.

ABSTRACT

The Geoinformation Technologies as the Cartography and Geographical Information System has been used to analyze the accessibility and mobility in urban areas, enable the creation of spatial database containing information on the physical elements for people with disabilities and provide a better understanding visual elements through thematic maps. In action planning or spatial planning should include studies on accessibility and urban mobility analyzing the different physical components of the urban environment (ramps, lowered sidewalks, obstacles, etc.) through the spatial representation. In this sense, the research proposes a Spatial Data Modeling able to integrate the physical elements for accessibility for people in wheelchairs considering the NBR 9050/2004 standards establishing criteria and technical parameters for accessibility to buildings, furniture, spaces and equipment urban. The study used the OMT-G methodology - Object Modeling Technique for model creation, physical implementation was held in PostgreSQL / PostGIS and spatial distribution of the classes and attributes of the Bank of Spatial Data was performed by connecting the PostgreSQL / PostGIS with the program free Quantum GIS. The elements were qualitatively assessed and investigated compliance with legislation and the results presented in thematic maps and analysis of routes. The study area was the health pole that is located in the Centro neighborhood in the city of Teresina, state of Piauí. The results demonstrate the ability of Spatial Data Modeling represent objects of urban space for accessibility. The spatial queries with variable cross enabled a more consistent qualitative analysis of the study area presented in thematic maps. The results demonstrated the lack of accessibility and mobility in the health pole by the presence of obstacles, slope differences along the sidewalks, inadequate construction material and poor physical condition of the sidewalks, that prevent access for people in wheelchairs to health equipment autonomously and safely.

Keywords: Information Systems, Spatial Data Modeling, routes, accessibility, person with motor disabilities, Legislation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	- Parâmetros para caracterização de Calçadas.....	21
Quadro 2	- Grupos e Subgrupos de critérios de avaliação da Acessibilidade.....	22
Quadro 3	- Compatibilidade de Banco de Dados e formatos de dados para diferentes Softwares de SIG.....	24
Figura 1	- Modelagem de Banco de Dados Conceitual para navegação de pessoas em cadeiras de rodas.....	26
Figura 2	- Níveis de abstração em MDE para Acessibilidade.....	28
Figura 3	- Tipos de dados espaciais do PostGIS.....	30
Figura 4	- Legislações sobre Acessibilidade para Pessoas com Deficiência....	33
Figura 5	- Rebaixamento de calçadas para travessia de pedestres.....	35
Figura 6	- Inclinação transversal e largura de rampas.....	36
Quadro 4	- Tipos de Aplicação de Sensoriamento Remoto em Função da Escala.....	40
Figura 7	- Etapas da pesquisa.....	41
Figura 8	- Mapa de Situação do bairro Centro de Teresina/PI.....	42
Figura 9	- Área da coleta dos dados (Polo de Saúde).....	43
Figura 10	- População com Deficiência Motora nas Capitais das Unidades da Federação.....	44
Figura 11	- Condição das calçadas e bloqueio pela presença de poste de iluminação.....	45
Figura 12	- Veículos estacionados nas calçadas.....	45
Figura 13a	- Calçadas rebaixadas quebradas.....	46
Figura 13b	- Obstrução no acesso ao lote por postes de iluminação.....	46
Figura 14	- Modelo Conceitual da Modelagem de Dados Espacial para Acessibilidade.....	47
Figura 15	- Diagrama de Classes da Modelagem de Dados Espacial para Acessibilidade em Mapa Base e Rede de Acessibilidade.....	48
Figura 16	- Relacionamento Espacial e Cardinalidade entre as Classes BAIRRO e QUADRA.....	49
Figura 17	- Relacionamento Topológico arco-nó entre as classes NO_REDE e CALCADA.....	50
Figura 18	- Processo de Especialização no MDE para Acessibilidade.....	51
Figura 19	- Classes Geo-Objeto do MDE Acessibilidade.....	52
Figura 20	- Classe Geo-Campo no MDE Acessibilidade.....	52
Figura 21	- Criação do projeto do banco de dados em PostgreSQL.....	53
Figura 22	- Banco de Dados Espaciais.....	54
Figura 23	- Tabelas contendo <i>script</i> do MDE para Acessibilidade.....	54
Figura 24	- <i>Script</i> de integridade espacial.....	55
Figura 25	- Visualização das classes do <i>script</i> do PostGIS via QGIS.....	56
Figura 26	- Tabela de atributos após criação do <i>script</i> do PostGIS via QGIS.....	56
Figura 27	- Resultado topológico de bases de dados em diferentes Sistemas Geodésicos de Referência.....	59
Figura 28	- Calculadora de campo para obtenção dos valores da inclinação.....	60

Figura 29	- Base de Dados Espaciais e tabela de atributos para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas.....	61
Figura 30	- Distribuição espacial dos estabelecimentos de saúde com rampas.....	62
Figura 31	- Recorte da base cartográfica com os tipos de obstáculos físicos.....	63
Figura 32	- Presença de obstáculos atitudinais em calçadas.....	64
Figura 33	- Recorte da Base Cartográfica com a variedade de desníveis ao longo das calçadas.....	65
Figura 34	- Recorte da Base Cartográfica com Tipos de Material das Calçadas.....	66
Figura 35	- Mapa Temático por Condição Física das Calçadas.....	67
Figura 36	- Localização dos segmentos de Calçada conforme NBR 9050/2004.....	68
Figura 37	- Distribuição Espacial segundo situação ideal para mobilidade nas calçadas.....	69
Figura 38	- Consulta para obtenção da condição ideal para mobilidade nas calçadas.....	69
Figura 39	- Tabela de Atributos quanto ao piso das Calçadas.....	70
Figura 40	- Classificação da Rampas de acesso aos equipamentos de Saúde..	71
Figura 41	- Mapa de Rampas conforme a NBR 9050/2004.....	72
Figura 42	- Recorte da Base Cartográfica de Calçadas Rebaixadas padronizadas.....	73
Figura 43	- Mapa de Localização dos Elementos Físicos conforme NBR 9050/2004.....	74
Figura 44	- Conexões dos trechos de calçadas e atributos de conexões.....	75
Figura 44a	- Segmentos das calçadas conectados.....	75
Figura 44b	- Id_início e id_fim dos vértices das calçadas preenchidos.....	75
Figura 45	- Tabela CALCADA com id_início e id_fim referenciados resultado do <i>script</i>	76
Figura 46	- Ferramenta Menor Distância do QGIS.....	77
Figura 47	- Teste de rotas com ferramenta do QGIS.....	77
Figura 48	- Rotas para mobilidade em calçadas com algoritmo <i>pgr_dijkstra</i>	80
Figura 49	- Rotas para mobilidade de pessoas em cadeiras de rodas segundo ABNT 9050/2004.....	82
Figura 50	- Rotas com presença de obstáculos físicos.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA – Americans with Disabilities Act
AGESPISA – Águas e Esgotos do Piauí S/A
CIF - Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia
ET AL – e outro
FK – Chave estrangeira
GPS – Global Posicion Sattelite
GNU – Gneral Public License
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID – identificador único
IFO - Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects
IFPI – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
MDE – Modelagem de Dados Espaciais
NBR – Norma Brasileira
OMT – Object Modeling Technique
OMT-G – Object Modeling Technique for Geographic Applications
ONU – Organização das Nações Unidas
PK – Chave primária
QGIS – Quantum GIS
SGBD - Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SIDRA - Sistema IBGE de recuperação automática
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SEMPPLAN - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação
SQL – Structured Query Language
TRSP - Turn Restriction Shortest Path
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2. TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO NA ACESSIBILIDADE	20
2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO A PESSOA EM CADEIRA DE RODAS.....	20
2.2 MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS APLICADA A ACESSIBILIDADE	25
2.2.1 Modelo de Bancos de Dados	25
2.2.2 Modelagem de Dados Espaciais.....	25
2.2.3 Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados – SGBD	29
2.3 ACESSIBILIDADE URBANA E DEFICIÊNCIA MOTORA – ASPECTOS CONCEITUAIS E LEGAIS.....	30
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	40
3.1 RECURSOS TECNOLÓGICOS	40
3.1.1 Base de Dados Espaciais.....	40
3.1.2 Programas Computacionais.....	40
3.1.3 Equipamentos Eletrônicos e Computacionais.....	40
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
3.2.1 Caracterização da Área de Estudo	41
3.2.1.1 O Município: Teresina	41
3.2.1.2 A Área da Pesquisa: Centro.....	41
3.2.1.3 Região da Coleta dos Dados: Polo de Saúde de Teresina.....	42
3.2.1.4 Acessibilidade e População com Deficiência	43
3.2.2 Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade.....	46
3.2.3 Implementação do MDE em SIG.....	55
3.2.4 Levantamento de dados em campo.....	57

3.3 AVALIAÇÃO DA MDE.....	61
3.3.1 Avaliação Qualitativa dos elementos físicos para Acessibilidade	61
3.3.2 Teste do MDE para geração de rotas	74
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
APÊNDICES.....	95
APÊNDICE A – DIAGRAMA DE CLASSES DA MODELAGEM DE DADOS ESPACIAL PARA ACESSIBILIDADE.....	96
APÊNDICE B – DICIONÁRIO DE DADOS CONTENDO OS METADADOS.....	97
APÊNDICE C – COMANDOS SQL PARA A CRIAÇÃO DAS TABELAS ESPACIAIS NO POSTGRESQL/POSTGIS	100
APÊNDICE D - COMANDOS SQL PARA RESTRIÇÃO DE INTEGRIDADE ESPACIAL: RESTRIÇÕES TOPOLÓGICAS	103
APÊNDICE E – PLANILHAS DE CAMPO.....	104
APÊNDICE F – BASE DE DADOS ESPACIAIS E TABELA DE ATRIBUTOS PARA ACESSIBILIDADE DE PESSOAS EM CADEIRAS DE RODAS	109
APÊNDICE G – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE COM RAMPAS	110
APÊNDICE H - RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA COM OS TIPOS DE OBSTÁCULOS FÍSICOS	111
APÊNDICE I – RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA COM A VARIEDADE DE DESNÍVEIS AO LONGO DAS CALÇADAS	112
APÊNDICE J - RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA COM TIPOS DE MATERIAL DAS CALÇADAS	113
APÊNDICE K - MAPA TEMÁTICO POR CONDIÇÃO FÍSICA DAS CALÇADAS	114
APÊNDICE L - LOCALIZAÇÃO DOS SEGMENTOS DE CALÇADA CONFORME NBR 9050/2004.....	115
APÊNDICE M - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL SEGUNDO SITUAÇÃO IDEAL PARA MOBILIDADE NAS CALÇADAS.....	116
APÊNDICE N - CLASSIFICAÇÃO DAS RAMPAS DE ACESSO AOS EQUIPAMENTOS DE SAÚDE	117

APÊNDICE O - MAPA DE RAMPAS CONFORME A NBR 9050/2004	118
APÊNDICE P - RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA DE CALÇADAS REBAIXADAS PADRONIZADAS.....	119
APÊNDICE Q - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS CONFORME NBR 9050/2004.....	120
APÊNDICE R - SCRIPT PARA ATUALIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS ID_INICIO E ID_FIM NA TABELA CALCADA.....	121
APÊNDICE S - ROTAS PARA MOBILIDADE EM CALÇADAS COM ALGORITMO PGR_DIJKSTRA.....	122
APÊNDICE T – ROTAS PARA MOBILIDADE DE PESSOAS EM CADEIRAS DE RODAS SEGUNDO ABNT 9050/2004	123
APÊNDICE U – ROTAS COM PRESENÇA DE OBSTÁCULOS FÍSICOS.....	124
ANEXOS	125
ANEXO A – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA SISTEMA DE TRANSPORTES CONTIDO NA INDE	126
ANEXO B – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA LOCALIDADES CONTIDO NA INDE	127
ANEXO C – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA LIMITES CONTIDO NA INDE	128
ANEXO D – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA SAÚDE E SERVIÇO SOCIAL CONTIDO NA INDE.....	129

1 INTRODUÇÃO

Na gestão territorial deve-se considerar a dimensão social do ordenamento do espaço, ou seja, o direito a circular, habitar e vivenciar todos os espaços que um lugar oferece. A falta de acessibilidade aos espaços públicos e serviços ofertados pelas cidades causam dificuldades de deslocamento pelo cidadão, em geral, mais perceptível em pessoas em cadeiras de rodas. A dificuldade desse público é mais evidente por conta dos desníveis e obstáculos arquitetônicos, assim, o espaço público deve oferecer acesso às pessoas com ou sem deficiência, de forma igualitária e inclusiva.

A acessibilidade e a mobilidade urbana são elementos fundamentais na fase de planejamento urbano. Segundo Leite (2013), o estabelecimento de uma relação saudável entre os habitantes, os elementos e os equipamentos urbanos, devem garantir o direito de habitar, circular, **viver a cidade**, por meio de uma locomoção própria e autônoma.

Quanto maior o grau de acessibilidade de uma localidade para os usuários que nela exercem os vários tipos de atividades, maior o potencial de desenvolvimento da área. A intensidade do desenvolvimento dos padrões de uso e ocupação do solo de uma região está relacionada com o seu nível de acessibilidade e diretamente relacionada com a produção deste espaço, devido às oportunidades de interação entre os pontos de origem e de destino dos indivíduos (MACHADO, 2008).

A falta de mobilidade também propicia a não acessibilidade, isto é, a exclusão social na convivência em espaços urbanos. O espaço urbano torna-se produto de relações desiguais (LEITE, 2013).

Ao Poder Público Municipal cabe atender as demandas de acessibilidade da população através de instrumentos de política urbana como o Plano Diretor e um conjunto de legislação urbanística. Para isso, é importante conhecer os elementos físicos urbanos que promovem o acesso e o deslocamento para pessoas em cadeiras de rodas, suas características, a conformidade segundo legislações vigentes e o posicionamento geográfico para análise espacial e futuras intervenções.

Nesta pesquisa, assume-se que, a acessibilidade é a oportunidade de acesso aos serviços e aos ambientes urbanos para pessoas com deficiência de locomoção. Os componentes físicos que promovem a acessibilidade e a mobilidade do cidadão com deficiência motora e idoso aos espaços urbanos são, por exemplo, as rampas.

A pesquisa é pautada nos conceitos e aplicações da Cartografia, Sistema de Informações Geográficas e Modelagem de Dados Espaciais que permitam a construção de procedimentos e rotinas como meio para aplicação dos princípios do Desenho Universal apresentada na norma brasileira ABNT 9050/2004, que estabelece critérios e parâmetros técnicos para acessibilidade a edificações, ao mobiliário, aos espaços e aos equipamentos urbanos. A implementação do modelo desenvolvido no SIG gera como resultados, por exemplo, mapas temáticos e análise de rotas para pessoas em cadeiras de rodas, objeto de estudo da pesquisa.

Para analisar espacialmente a organização territorial urbana, com base na acessibilidade, tem-se as Tecnologias da Geoinformação que constituem instrumentos de representação das cidades voltados a representação espacial, desenvolvimento de bancos de dados, modelagem e simulações, prognóstico, projeto e monitoramento, que dá suporte às análises espaciais e gestão inteligente das cidades.

A Cartografia constitui um conjunto de técnicas para representar elementos e fenômenos evidenciados no espaço geográfico, e ainda, conhecer o fenômeno estudado, oferecendo padrões de mensuração e leitura da realidade. Segundo Menezes e Fernandes (2013) auxilia no processo de aquisição de informações, na construção das bases cartográficas, no gerenciamento de dados espaciais, na extração de múltiplas análises com as informações mapeadas oferecendo subsídios para a administração pública.

A MDE – Modelagem de Dados Espaciais pode ser integrada ao ambiente de SIG – Sistema de Informações Geográficas e seu uso voltado para o planejamento urbano tem sido frequente. A facilidade de integração, gerenciamento e análise de grandes quantidades de dados é a principal vantagem do uso da Tecnologia da Geoinformação, desta forma, é possível espacializar cenários de avaliação para acessibilidade ao espaço urbano.

A modelagem conceitual apresenta as classes e os atributos, definidos pelos parâmetros presentes na NBR 9050/2004. O SIG aplicado permite a identificação espacial de rampas, calçadas rebaixadas, obstáculos físicos e integra os elementos que pertencem ao universo das pessoas em cadeiras de rodas através da determinação de sua posição no espaço através do georreferenciamento. Além da análise de rotas e consultas espaciais para avaliação qualitativa das características

físicas dos acessos de acordo com a legislação. E assim, possibilita mapear e identificar as condições de acessibilidade no espaço físico para pessoas em cadeiras de rodas. A área de estudo da pesquisa foi na cidade de Teresina, estado do Piauí.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A falta de acessibilidade provocada por obstáculos existentes em espaços públicos são fatores que colaboram para a permanência das desigualdades sociais ferindo o princípio constitucional de ir e vir do cidadão, além de, restringir sua cidadania.

O resultado do Censo Demográfico 2010 aponta que 45.606.048 milhões de pessoas declararam ter, pelo menos, um tipo de deficiência. A região Nordeste concentra os maiores percentuais da população com, pelo menos, um tipo de deficiência (26,6%). A avaliação por idade traz os idosos, com 67,7% das pessoas com 65 anos ou mais apresentando algum tipo de deficiência (9.537.624) (IBGE, 2014).

As ações voltadas para a redução e a eliminação das barreiras arquitetônicas e urbanísticas são essenciais para promover a equiparação de oportunidades de acesso aos espaços e aos serviços para o cidadão, principalmente, pessoas com deficiência.

Menezes e Fernandes (2013), constataam que, a velocidade na obtenção, manipulação e exibição de dados e informações somadas às necessidades de espacialização de fenômenos de diversas naturezas vêm se tornando elementos fundamentais no planejamento e na gestão territorial.

Nesse sentido, para melhor planejar os espaços públicos urbanos estão sendo empregadas tecnologias modernas com Geoinformação. Apresentam-se como um instrumento para a gestão dos espaços urbanos oferecendo procedimentos e metodologias para representar e monitorar a dinâmica e mutabilidade dos espaços.

Informações obtidas a partir de dados estatísticos, censitários, cadastrais, iconográficos e legislação vigente foram aliados aos documentos cartográficos que reunidos se constituem em uma única fonte de informação, e possibilitam a caracterização e a representação espacial dos equipamentos urbanos, no caso da pesquisa, destinados à circulação de pessoas em cadeiras de rodas.

No que se refere a representação cartográfica sobre acessibilidade, Beatle et al. (2006) declaram a escassez de mapas que identifiquem barreiras arquitetônicas para circulação de pessoas em cadeiras de roda como lances elevados, longos trechos sem um local de descanso, ruas muito inclinadas e superfícies irregulares, e outros obstáculos comumente encontrados nas cidades.

Os mapas temáticos para acessibilidade são adequados na identificação, na localização e na avaliação das características físicas dos elementos para circulação de pessoas em cadeiras de rodas, principalmente de rampas, calçadas rebaixadas e obstáculos por serem elementos essenciais para mobilidade.

Leite (2013) constatou que apesar da grande utilidade dos SIG e da sua associação ao planejamento urbano, grande parte dos estudos restringe-se a problemas urbanos específicos tais como: menores rotas de veículos públicos e delimitações de áreas públicas.

O mapeamento dos principais problemas de mobilidade e acessibilidade urbana, com uso do SIG, permite prever e determinar quais os locais onde devem ser executadas intervenções urbanísticas. O objetivo é melhorar a qualidade de vida da população, assim como, a hierarquização das ações previstas.

As pesquisas desenvolvidas acerca da acessibilidade e mobilidade têm sido, em sua maioria, direcionadas a transportes. Apesar de alguns estudos relacionando as Tecnologias da Geoinformação para acessibilidade, ainda é uma temática pouco explorada em pesquisas brasileiras, quando se refere à distribuição espacial e análise das características físicas e qualitativas dos elementos urbanos.

No estado do Piauí, com relação a acessibilidade nos municípios, não existe nenhuma previsão para integrar o uso da Tecnologias da Geoinformação na análise dos componentes físicos do ambiente urbano para pessoas com deficiências. As únicas ações são projetos urbanísticos de responsabilidade das prefeituras municipais por exigência das leis federais e municipais.

Dessa forma, entende-se ser necessário estudar a acessibilidade para pessoas com deficiências motora em espaços públicos urbanos utilizando Tecnologias da Geoinformação.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo Geral

Propor uma MDE – Modelagem de Dados Espaciais para acessibilidade aos espaços públicos de pessoas em cadeira de rodas em Teresina, Piauí.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a acessibilidade na região central do município de Teresina, Piauí
- Desenvolver Modelagem de Dados Espaciais com base na norma ABNT 9050/2004 para a cidade de Teresina, estado do Piauí
- Implementar a base de dados espaciais em um SIG
- Testar a Modelagem de Dados Espaciais a partir da construção de mapas temáticos com análise de rotas.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Capítulo 1 – Introdução, Problema e Objetivos. Neste item é exposta a ideia da pesquisa e apresentados os objetivos geral e específicos, assim como, a problemática e a justificativa do tema estudado.

Capítulo 2 – Base Teórica. Apresenta pesquisas abordando a temática utilizando Tecnologias da Geoinformação para acessibilidade. Considerações teóricas sobre Modelagem de Dados Espaciais utilizadas na pesquisa e os aspectos legais que regem a temática.

Capítulo 3 – Metodologia da Pesquisa. Relaciona os recursos tecnológicos e os documentos cartográficos utilizados. Apresenta a área de estudo, polo de saúde localizada na região central da cidade de Teresina, estado do Piauí. A área de estudo é descrita de acordo com suas características físico-geográficas, socioeconômicas, demográficas e dados acerca da acessibilidade e deficiência. Aborda os métodos empregados no desenvolvimento da pesquisa, de modo a alcançar os objetivos traçados. E por fim, apresenta os resultados obtidos no momento.

Capítulo 4 – Conclusões e Recomendações.

2. TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO NA ACESSIBILIDADE

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO A PESSOA EM CADEIRA DE RODAS

Entre as Tecnologias da Geoinformação para análise da acessibilidade destaca-se, nesta pesquisa, os SIG pois proporciona a construção de mapas temáticos, que permite o desenvolvimento de análises espaciais sobre acessibilidade por pessoas em cadeiras de rodas no espaço urbano. Além de oferecer uma melhor percepção visual dos elementos do meio físico urbano.

Alguns autores comparam a navegação para automóveis com navegação para cadeiras de rodas. Ren e Karimi (2009), Beale et al. (2006), Kasemsuppakorn e Karimi (2008), Ding et al. (2007) afirmam que, a base de dados espaciais para pessoas em cadeiras de rodas são mais complexas devido a restrições exclusivas para o deslocamento como barreiras arquitetônicas (inclinação, tipo de superfície e rebaixamentos), além das atitudinais que impedem a navegação eficaz.

Para Ding et al. (2007), os sistemas de navegação para automóvel são inadequados para as pessoas em cadeira de rodas pela ausência das informações relevantes para este público, como, por exemplo, a localização das rampas existentes para acesso as calçadas e suas condições físicas, bem como os locais para travessia de vias.

Tolerico et al. (2007) identificam outros requisitos e restrições para navegação em cadeira de rodas, como tipo de cadeira de rodas, nível de lesão do indivíduo, nível de acessibilidade do meio, velocidade durante o deslocamento e outros. Por isso, é necessário um mapeamento direcionado para pessoa com dificuldade de mobilidade, ou seja, de acordo com as habilidades e necessidades desse público.

Beale et al. (2006) afirmam que, os SIG, quando possuem uma base de dados espaciais modelada para pessoa com problemas de mobilidade, podem fornecer informações sobre obstáculos físicos existentes nos ambientes urbanos. Além de oferecer aos pedestres e pessoas em cadeiras de rodas maneiras para identificar as barreiras e traçar suas rotas antes dos deslocamentos.

Segundo Kasemsuppakorn e Karimi (2008), Ren e Karimi (2009) as variáveis urbanas que devem ser consideradas para acessibilidade estão centradas principalmente em torno de redes de calçadas junto com parâmetros únicos

relacionados ao ambiente circundante. Esses dados permitem a identificação dos acessos e dos obstáculos, sejam antrópicos ou ambientais, que tem impacto sobre a mobilidade e segurança, além da compreensão de um espaço urbano personalizado e georreferenciado para pessoas em cadeiras de rodas.

Ding et al. (2007) sugerem que, o banco de dados deve conter, no mínimo, classes relacionadas a rede de calçada, edifícios e pontos de referência. A rede de calçada representada através de linhas conectadas com atributos identificando as condições da calçada, escadas, rampas, inclinação, cruzamento, ponto de ônibus e áreas danificadas. Dados do edifício deve conter informações de localização com atributos que identificam entradas acessíveis.

Kasemsuppakor e Karimi (2008) determinam os parâmetros para rede de calçada com base nos requisitos técnicos segundo a legislação americana ADA – Americans with Disabilities Act e estudos de caso, descritos na Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros para caracterização de Calçadas

Parâmetros	Descrição	Fonte de Dados
Largura	Largura de apuramento de calçada.	Levantamento de campo
Declive	Grau de inclinação (%) ao longo de cada segmento de calçada	Calcular a partir de dados contorno
Passo	Localização e número de degraus	Levantamento de campo
Superfície calçada	Tipo de superfície: concreto, asfalto, tijolo, paralelepípedos, grama, e cascalho	Levantamento de campo
Condições das calçadas	Rachaduras, tampa de bueiro, e a superfície irregular.	Identificar através de pesquisa de campo
Tráfego calçada	Passagem de pessoas ao longo segmento de calçada que depende do dia e hora	Categorizar calçada e determinar o tráfego nível baseado em dia e hora
Comprimento	Tamanho do segmento da calçada	Calcular a partir dos nós inicial e final e cadeia de nós.

Fonte: Kasemsuppakor e Karimi (2008)

Através dos requisitos exigidos pelas legislações para construção de espaços acessíveis, é possível extrair as variáveis para definição das classes e atributos no momento da criação da Modelagem de Dados Espaciais. Alguns grupos e subgrupos de critérios de avaliação da acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida são revelados por Neiva et al. (2013) e mostrados na Quadro 2, na ocasião, presentes no Decreto-Lei 163/2006 da República Portuguesa:

Quadro 2 – Grupos e Subgrupos de critérios de avaliação da Acessibilidade

Grupo	Subgrupos
Via pública – Passeios e vias de acesso	Percurso acessível Passeios e caminhos de pedestres Escadas Escadaria na via pública Escadarias em rampa na via pública Rampas Rampas na via pública
Via pública – Passagem de pedestres	Rampas de pedestres de superfície Passagens de pedestres desniveladas Outros locais de circulação e permanência de pedestres

Fonte: Neiva et al. (2013)

Aguiar (2010) indica outras variáveis (ambiental e física) que influenciam no desempenho do espaço e contidas também na NBR 9050/2004, são: largura, inclinações longitudinal e transversal, características do material usado no piso, estado de conservação do piso, existência de sinalização, visibilidade e outras facilidades para travessia do pedestre nos cruzamentos, estética do ambiente, existência de iluminação, existência de arborização, tipo de uso e ocupação do solo adjacente às calçadas.

Os elementos urbanos para análise da acessibilidade citados nessa pesquisa são melhor representados através de rede de rotas. Matthews et al. (2003), Beale et al. (2006), Kasemsuppakorn e Karimi (2009) e Neis (2015) mostram como esses elementos podem ser usados durante a determinação da rota de um usuário de cadeira de rodas. Os parâmetros mais importantes para rede de rotas citados pelos autores, são: comprimento, largura, declive, tipo do piso da calçada, condições de calçada e tráfego de pessoas no trecho.

Segundo Beale et al. (2006) um modelo em SIG baseada em rede constitui um instrumento para auxiliar na navegação em ambientes urbanos. O roteamento tem como objetivo criar percursos através de pontos interligados por segmentos de reta para facilitar no planejamento do trajeto e acesso a locais. A rota é calculada obedecendo o critério origem-destino de acordo com a busca do usuário por ponto-de-interesse e apresentadas através de mapas digitais.

Ao contrário da navegação para carro, onde a distância e o tempo são geralmente utilizados como critérios para calcular uma rota, Kasemsuppakorn e Karimi (2008) declaram que a navegação em cadeira de rodas considera barreiras antrópicas e ambientais (obstáculos) e as do usuário (grau de deficiência e tipo de cadeira) como parâmetros para traçar rotas. Essas barreiras são usadas como pesos em cada segmento da calçada.

Neis (2015) propõe uma abordagem que avalia rotas para usuários de cadeiras de rodas fornecendo um fator de confiabilidade (pesos) para as informações fornecidas pelo *Open Street Map*. O algoritmo de roteamento utiliza apenas os segmentos de calçadas conforme os padrões ideais para mobilidade plena e segura do usuário, conforme os requisitos sugeridos pela ADA: largura da calçada igual ou maior do que 1m; condição do piso da calçada melhor que piso em blocos de concreto; e suavidade no seguimento das calçadas avaliado como bom ou melhor (se é regular ou irregular o caminhar na calçada ou entre calçadas consecutivas).

O cálculo da rota é influenciado pela presença de obstáculos que podem ou não serem ultrapassados e pelos pesos atribuídos para cada parâmetro analisado. Neis (2015), também destaca que, os resultados dependem da qualidade da representação dos dados geográficos existentes na base de dados espaciais. Dados errados no sistema pode levar a rotas falhas ou mesmo a não geração de rotas. E rotas curtas contêm segmentos com condições físicas piores.

Entre os programas computacionais do tipo SIG, Nunes (2013) sugere a utilização do *software* livre e gratuito QGIS, onde é possível espacializar as rotas mais solicitadas pela população realizando cruzamentos com variáveis como, por exemplo, inclinação do percurso, estado do piso, obstáculos em passeios, escadas em vias públicas e rampas de acesso a serviços.

Chen et al. (2010) avaliaram uma amostra de quatorze programas para SIG de código aberto para avaliação de potencialidades e desempenho e concluíram que o QGIS é uma poderosa ferramenta, robusta e de fácil uso, compatível com os sistemas operacionais Linux, MS Windows, Mac OS X, POSIX, com linguagem de programação C++, possível de ser executado em multi-plataformas. Com relação aos formatos de bancos de dados constatou-se que o QGIS reconhece arquivos raster e vetoriais de vários formatos inclusive os mais usuais *shapefile* (ESRI), DXF, TIF, geoTIFF além de ser compatível com base de dados PostgreSQL/PostGIS, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Compatibilidade de Banco de Dados e formatos de dados para diferentes Softwares de SIG

Name	OpenGIS	Database	Data format
Diva GIS	WMS, WFS	Yes	Shp, grd, tif, ipg, sid, arc
gvSIG	WMS, WCS, WFS (ArcIMS)	Yes	shp, gml, dxf, dwg, dgn, geoBD, WFS, WMS, WCS, ArcIMS
MapWindow GIS	WMS, WFS	Access, ArcXML	shp, bgd, bil, asc, ESRI grid, img, ESRI FLT, ddf, aux, dhm, bt, bmp, ecw, map, sid, LF2, kap, wmf
OpenJUMP	WMS	Yes	ESRI (shp), ecw, gml, xml, fme, jml, wkt, txt, WMS, database query
QGIS	WMS	PostgreSQL/PostGIS	ESRI (shp), mapinfo (mif), cadd, ddf, gml, tif, img, dem, asc, dt0
SAGA GIS	No	Via ODBC	ESRI E00, GPX, GDAL, DXF, SBF, ODBC
FWTools	WMS	MySQL	VPF (i.e. VMAP, VITD), RPF (i.e. CADRG, CIB), and ADRG
GeoServer	WMS, WFS	PostgreSQL/PostGIS, Oracle	VPF, MapInfo, and Cascading WFS, MrSID, ECW, JPEG2000, DTED, Erdas Imagine, and NITF
HidroSIG	WMS, WFS	MySQL	ESRI (shp), dxf, jpeg, tiff, gif, bmp
GeOxygene	WMS, WFS	Oracle and PostgreSQL/PostGIS	ESRI (shp), dxf, jpeg, tiff, gif, bmp
SavGIS	WMS, WFS	SavGIS databases (called SavBase, proprietary format)	ESRI (shp), dxf, tiff, gif, bmp
ILWIS	WMS, WFS	PostgreSQL/PostGIS	ESRI (shp), dxf, jpeg, tiff, gif, bmp
GRASS GIS	WMS, WFS	MySQL, PostgreSQL/PostGIS, SQLite	ESRI (shp), dxf, TINs, jpeg, tiff, gif, bmp
uDig	WMS, WFS	ArcSDE, DB2, Oracle, ArcSDE, PostGIS	ArcSDE, DB2, Map Graphic, Oracle Spatial, PostGIS, WFS, WMS

Fonte: CHEN et al. (2010)

Em relação a avaliação posicional Usui et al. (2005) declaram que a navegação em cadeira de rodas requer precisão superior a 3 metros, enquanto para navegação de automóvel a precisão de até 10 metros, semelhante à fornecida pelo GPS de navegação.

No entanto, Ren e Karimi (2009) e Ding et al. (2007) afirmam que, os algoritmos presentes no GPS de navegação não são adequados para esta finalidade. A precisão típica do GPS de 10m ou mesmo 5m não é suficiente para distinguir a distância entre as bordas de calçadas com larguras menores. O mesmo se aplica na identificação de obstáculos ao longo do segmento de calçada.

A acessibilidade urbana em Teresina foi pesquisada por Saraiva e Sabaddini (2011). A finalidade foi identificar e mapear as condições de acessibilidade urbana para pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida em cinco zonas do bairro Centro, entre elas o Polo de Saúde, seguindo as normas técnicas e o desenho universal.

Saraiva e Sabaddini (2011) identificaram barreiras urbanísticas, naturais e atitudinais, como: redução da largura do passeio; criação irregular de rampas de acesso aos lotes nas calçadas; árvores, postes e bancas implantados aleatoriamente nas calçadas com largura menor que 1.20m; veículos sobre os passeios, camelôs e outros.

Na avaliação geral das zonas estudadas, 51% da área do Polo de Saúde permite a locomoção pelo cidadão. O diagnóstico sobre a circulação nas calçadas revelou que apenas 38% das calçadas do Polo de Saúde são acessíveis.

O resultado da pesquisa através de gráfico com percentuais apenas revela índices globais de mobilidade no bairro Centro mas não demonstrou como cada elemento físico interfere na acessibilidade.

2.2 MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS APLICADA A ACESSIBILIDADE

2.2.1 Modelo de Bancos de Dados

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos usados para descrever a estrutura de dados e as operações em um banco de dados (ELMASRI e NAVATHE, 2010). É necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados (BORGES e DAVIS, 2005).

Longley et al. (2013) declaram que, a base de qualquer SIG é o modelo de dados e, poderá ser satisfatório dependendo do modelo adotado, da qualidade da transcrição das entidades do mundo real e suas relações para o ambiente informatizado da base de dados.

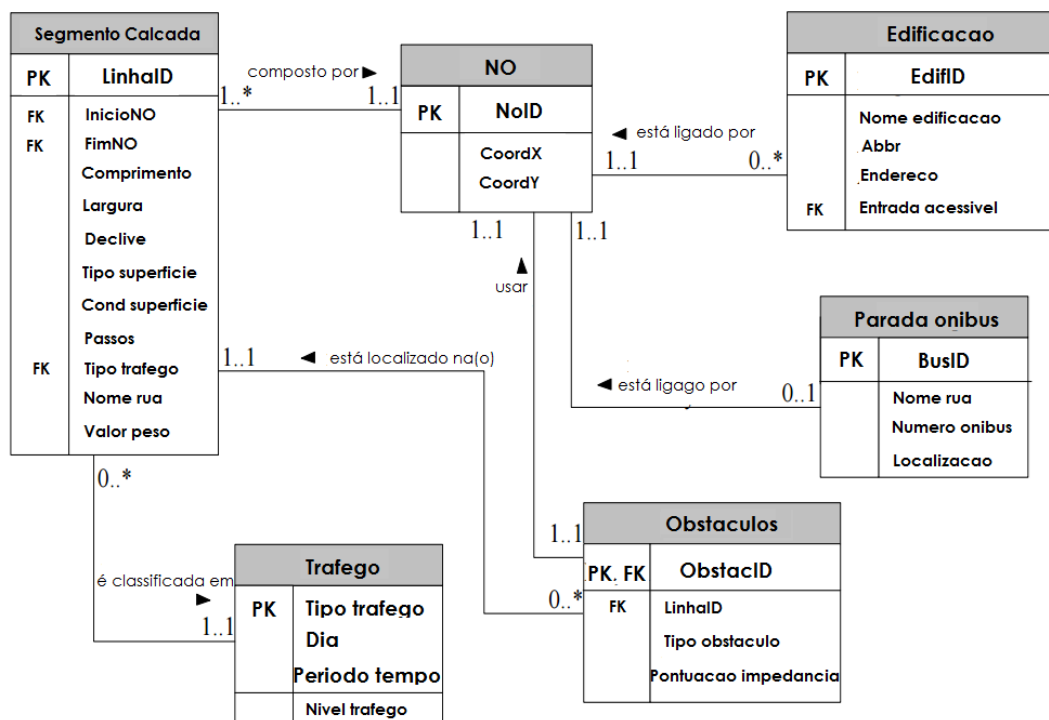
De acordo com Booch et al. (2000), na construção de modelos deve-se tomar em consideração quatro princípios: - escolha do modelo tem influência sobre a forma como um problema é enfrentado e como a solução é moldada; - cada modelo criado pode ser expresso a diferentes níveis de precisão; - modelos são ligados à realidade; e não existe um modelo único e suficiente.

2.2.2 Modelagem de Dados Espaciais

A representação computacional de dados georreferenciados constitui o principal desafio das Tecnologias da Geoinformação. Cada área do conhecimento possui seus próprios conceitos e especificações, mas para utilizá-los no ambiente SIG, é necessário que os objetos e fenômenos sejam transformados em representações gráficas, ou seja, traduzir conceitos abstratos do mundo real para o ambiente computacional.

Os objetos do espaço urbano para acessibilidade têm sido organizados em modelos de Banco de Dados através de Diagramas de Classes. Kasemsuppakorn e Karimi (2009) sugerem modelos de banco de dados conceitual para usuários de cadeira de rodas, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Modelagem de Banco de Dados Conceitual para navegação de pessoas em cadeiras de rodas



Fonte: Kasemsuppakorn e Karimi (2009)

O Modelo mostra os elementos do espaço urbano para acessibilidade em seis entidades: segmentos de calçada, nós, tráfego, edifícios, pontos de ônibus e obstáculos. A Classe NO desempenha um papel fundamental na construção do MDE, os atributos da classe são um par de coordenadas que representa, além da localização dos objetos, um "ponto de decisão" em relação a direção de trajeto, entradas acessíveis, obstáculos, cruzamentos de vias e paradas de ônibus para o usuário de cadeira de rodas.

Além disso, a MDE apresenta as geometrias para representação espacial, as restrições espaciais entre as entidades e os atributos de cada entidade. Os atributos de um segmento de calçada, por exemplo, são compostos por: largura, comprimento,

inclinação, tipo de superfície do piso, condição da superfície, passos, e o tráfego na calçada.

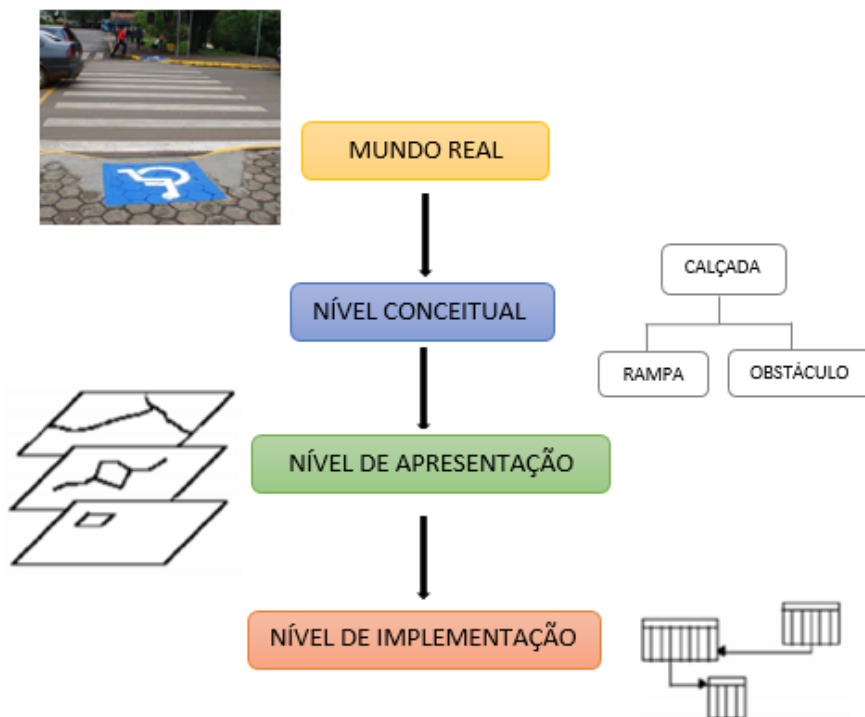
Para transcrever objetos e fenômenos em modelos de dados espaciais eles devem possuir recursos adequados para aplicações geográficas, segundo Borges et al. (2005). Entretanto, os modelos de dados convencionais não atendem aos requisitos estabelecidos para dados geográficos.

Segundo Lisboa Filho (1997) o principal requisito diz respeito à característica espacial das entidades geográficas pois possuem características qualificadas como a posição espacial, forma geométrica para representação, relacionamento entre as entidades, temporalidade e a acurácia no processo de aquisição.

Para atender as especificações para Modelagem de Dados Espaciais, diversos autores propuseram extensões espaciais dos modelos conceituais tradicionais para uso em SIG, como Modul-R (Bédard et al., 1996), GISER (Shekhar et al., 1997), GeoIFO (Hadzilacos e Tryfona, 1997), GMOD (Oliveira et al., 1997), GeoOOA (Kösters et al., 1997), OMT-G (Borges et al., 2001), MADS (Parent et al., 1999), GeoFrame (Lisboa Filho, 1999).

Os modelos de dados são expressos de acordo com o nível de abstração empregado e descreve a sequência desde a escolha dos elementos a representar até a transposição em linguagem computacional visando uma melhor compreensão das etapas para criação de um modelo de dados. Assim, Borges et al. (2001) definiram os quatro níveis para criação de modelo de dados geográficos e adaptados aqui para acessibilidade, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Níveis de abstração em MDE para Acessibilidade



Fonte Adaptada: Borges et al. (2001)

- Nível do mundo real: É a fase de escolha dos objetos ou fenômenos geográficos (entidades geográficas) a serem representados no computador (ex: rampas, calçadas e dados cadastrais).
- Nível de representação conceitual: É a etapa que é definido o modelo lógico que apresenta os conceitos das entidades geográficas segundo a concepção do usuário. Nessa fase são definidas as classes associadas à representação espacial que serão criados os modelos para construção do banco de dados (ex: modelo entidade-relacionamento e modelo OMT-G).
- Nível de apresentação: A representação das entidades geográficas do modelo lógico é apresentada. Nesta fase são definidas as geometrias (ponto, linha e polígono) para cada elemento conforme os conceitos de geo-objetos, geo-campos e rede que podem variar conforme escala, projeção cartográfica e época de aquisição (ex: um polígono representando uma quadra).
- Nível de Implementação: Nesta etapa, define-se as arquiteturas, restrições, linguagens de programação, ou seja, onde ocorre a realização do modelo de dados através de SGBD - Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados.

2.2.3 Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados – SGBD

Elmasri e Novathe (2011) definem SGBD – Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados como sendo uma coleção de programas que permite aos usuários criar e manter um banco de dados. É um sistema de *software* de uso geral que facilita o processo de definição, construção, manipulação e compartilhamento de bancos de dados entre usuários e aplicações.

As principais características e vantagens do uso segundo Elmasri e Novathe (2011) e Camara e Monteiro (2005), são:

- autodescrição de um sistema de banco de dados (metadados);
- independência de dados no programa;
- suporte para multiusuários;
- compartilhamento de dados e controle de acesso para multiusuários (integridade);
- controle de redundância;
- controle de acesso (segurança, autorização);
- backup* e recuperação;
- representa relacionamentos complexos entre dados e manutenção de dados por longo tempo (persistência).

O gerenciamento dos dados espaciais em um SIG fica a cargo dos SGBD espacial. São utilizados na fase de implementação para armazenamento e gerenciamento de dados geográficos.

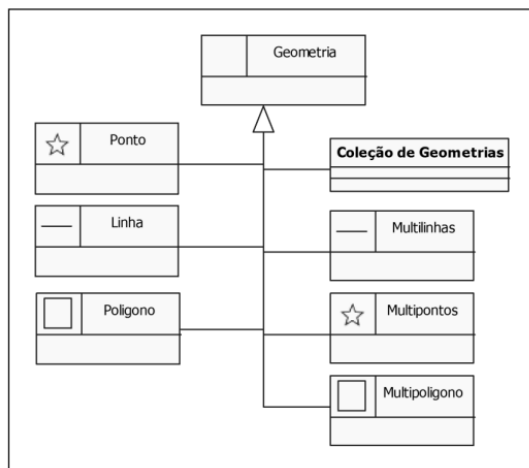
O PostgreSQL é um SGBD desenvolvido pela PostgreSQL Global Development Group. Ele é gratuito, de código aberto e possui suporte para grande parte dos padrões SQL, oferecendo a implementação de consultas complexas, chaves estrangeiras, *views*, integridade e outras vantagens, e é liberado sob a GNU – General Public License (The PostgreSQL Global DevelopmentGroup, 2015).

O PostGIS é a extensão espacial do PostgreSQL que oferece suporte para objetos espaciais, como apresenta a Figura 3. O PostGIS executa consultas espaciais em SQL e permite conexão com SIG's, como o QGIS, e também possui extensão para roteamento chamado *pgRouting* (POSTGIS, 2016).

O *pgRouting* é uma extensão para o PostGIS, que adiciona funcionalidades de roteamento, além de outras funcionalidades de análise de redes ao banco de dados. Ele utiliza os dados armazenados no banco, modelados como uma rede, e possui algoritmos de consulta de roteamento buscando sempre o caminho de menor custo.

O principal algoritmo do *pgRouting* é o *Shortest Path Dijkstra*, que retorna o caminho de menor custo entre dois nós da rede (nó inicial e o nó final), baseado no custo total gerado a partir da soma dos custos individuais de cada trecho da rede que forma o caminho.

Figura 3 - Tipos de dados espaciais do PostGIS



Fonte Adaptada: Queiroz e Ferreira (2006) por Araújo (2015)

2.3 ACESSIBILIDADE URBANA E DEFICIÊNCIA MOTORA – ASPECTOS CONCEITUAIS E LEGAIS

De forma abrangente, pode-se definir acessibilidade como sendo o livre acesso, sem barreiras urbanísticas, arquitetônicas, sensoriais e de transporte do indivíduo a qualquer espaço, lugar ou objeto. Nesse contexto, Nunes (2013) afirma que é um conjunto de características que o ambiente deve dispor para o conforto e a autonomia por todos os indivíduos, independentemente das suas habilidades ou limitações, de modo que possa ser usado em segurança.

O conceito de acessibilidade também está relacionado com aspectos urbanos como as oportunidades do ambiente dispostas ao indivíduo ou grupo para usufruir das atividades urbanas e serviços. Assim, Leite (2013) aborda o conceito de acessibilidade urbana como acesso aos bens e serviços públicos municipais e pela facilidade aos bens primários de serviços urbanos, como: escolas públicas, posto de saúde, vias de transporte público, áreas de comércio e indústria e o centro urbano.

Segundo a NBR 9050 (ABNT, 2004) e a Lei nº 10098 (Brasil, 2000), a acessibilidade é a possibilidade e a condição de alcance, a percepção e o entendimento para a utilização com segurança e autonomia dos espaços, mobiliários

e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida.

A acessibilidade no espaço urbano deve ser tratada associada à mobilidade urbana uma vez que os termos são diretamente relacionados e complementares quando referidos a deslocamento físico. Nesse sentido, Aguiar (2010) afirma quando se aumenta o nível de acessibilidade em determinado espaço, espera-se aumentar também as condições de mobilidade aos seus usuários. Por outro lado:

“Deslocar-se com maior intensidade não indica maior vantagem ou qualidade do lugar, pois a mobilidade em seu sentido mais amplo remete à acessibilidade às localidades. Grande parte da população pode transitar com menor intensidade e ter maior acesso aos equipamentos urbanos, ou seja, a acessibilidade não é apenas a facilidade de circular no território, mas a facilidade de chegar aos destinos” (LEITE, 2013).

Nesta pesquisa aborda-se a mobilidade no sentido de facilidade de deslocamento do indivíduo no espaço urbano. Já acessibilidade como acesso aos serviços e ambientes urbanos por pessoa em cadeira de rodas determinando a qualidade e a localização geográfica através do georreferenciamento dos equipamentos urbanos que contribuem para promoção da acessibilidade ao espaço urbano pelo cidadão.

Já o conceito de deficiência, declara o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, modificou-se ao longo dos levantamentos censitários para acompanhar as inovações na área da saúde e a percepção da sociedade de como se relacionar com a parcela da população que possui algum tipo de deficiência. O conceito evoluiu do modelo médico (considerando somente a patologia física e sintoma associado que dava origem a uma incapacidade) para um sistema como a CIF – Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde. Entende-se a incapacidade como a junção das limitações das funções, a forma como o indivíduo interage com o ambiente e as condições econômicas e sociais que o cercam.

Além do Censo Demográfico 2010, o tema esteve presente no primeiro levantamento censitário brasileiro, em 1872, e nos censos demográficos de 1890, 1900, 1920, 1940, 1991 e 2000, porém, com mudanças nos conceitos utilizados ou na formulação das perguntas, o que não permite a comparabilidade direta entre esses levantamentos (IBGE, 2015).

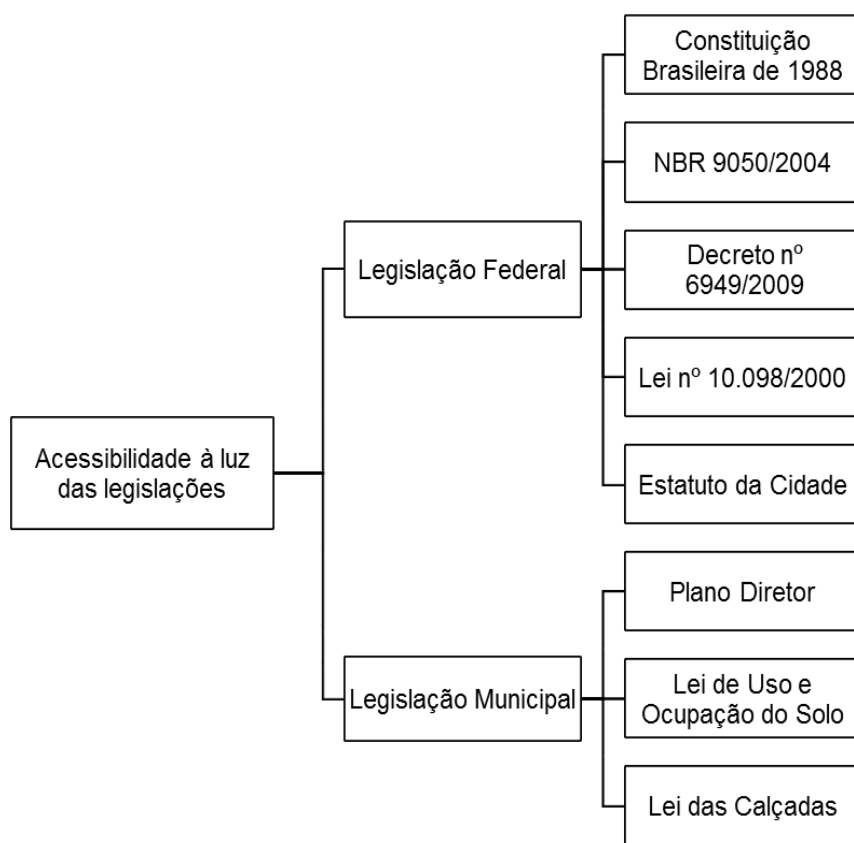
Nesse contexto, pelo Censo 2010, foram investigadas as deficiências permanentes: visual, auditiva e motora, de acordo com o seu grau de severidade, e, também, mental ou intelectual. Um novo conceito de deficiência motora surgiu de acordo com a classificação:

- Não consegue de modo algum – para a pessoa que declarou ser permanentemente incapaz, por deficiência motora, de caminhar ou subir escadas sem a ajuda de outra pessoa;
- Grande dificuldade – para a pessoa que declarou ter grande dificuldade permanente de caminhar ou subir escadas sem a ajuda de outra pessoa, ainda que usando prótese, bengala ou aparelho auxiliar;
- Alguma dificuldade – para a pessoa que declarou ter alguma dificuldade permanente de caminhar ou subir escadas sem a ajuda de outra pessoa, ainda que usando prótese, bengala ou aparelho auxiliar;
- Nenhuma dificuldade – para a pessoa que declarou não ter qualquer dificuldade permanente de caminhar ou subir escadas sem a ajuda de outra pessoa, ainda que precisando usar prótese, bengala ou aparelho auxiliar.

No Brasil, a política de inclusão social das pessoas com deficiência existe desde a Constituição de 1988, que originou a Lei nº. 7.853/1989, posteriormente regulamentada pelo Decreto nº. 3.298/1999. Esses documentos nacionais, junto as Leis nº. 10.048, nº. 10.098, de 2000 e o **Decreto nº. 5.296/2004**, conhecido como o **Decreto da Acessibilidade**, colocam o Brasil em igualdade com o ideário da Convenção da ONU (BRASIL, 2008).

As legislações federais supracitadas juntam-se a norma da ABNT NBR 9050/2004 e as legislações municipais que normalizam a temática e nortearam a pesquisa, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Legislações sobre Acessibilidade para Pessoas com Deficiência



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A nível nacional, a principal norma da ABNT sobre acessibilidade é a NBR 9050/2004 – intitulada “Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos”, que estabelece critérios e parâmetros técnicos de projeto, construção, instalação e adaptação às condições de acessibilidade dos espaços.

Os pontos mais relevantes para esta pesquisa estão contidos nesta norma. As recomendações da NBR para adaptação dos espaços físicos destinados a pessoa em cadeira de rodas são:

- mobilidade em cadeira de rodas deve ser considerada as dimensões de 80cm de largura por 1,20m de comprimento como módulo de referência na projeção no piso (dimensões de uma cadeira de rodas).

- calçadas, passeios e vias de pedestres devem possuir faixa livre (faixa da calçada destinada exclusivamente à livre circulação de pedestres sem obstrução) com largura mínima recomendável de 1,50m, admissível no mínimo 1,20m, e altura livre

de 2,10m. A largura da faixa livre é calculada levando em consideração um fluxo de tráfego de 25 pessoas por minuto em ambos os sentidos através da Equação 1:

$$L = (F/K) + \sum i \geq 1,20 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

L = largura da faixa livre

F = fluxo de pedestres estimado ou medido nos horários de pico

K = 25 pedestres/min

$\sum i$ = somatório dos valores adicionais relativos aos fatores de impedância (45cm – vitrines/comércio no alinhamento; 25cm – mobiliário urbano; 25cm – entrada de edificações no alinhamento)

- faixas de travessias de pedestres devem ser executadas conforme o Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9503/1977). Devem ser aplicadas nas pistas de rolamento, prolongamento das calçadas e passeios onde houver demanda de travessia, próximo a semáforos com foco de pedestres, como mostra a Figura 5. A largura da faixa deve ser de no mínimo 4m determinada pelo fluxo de pedestres no local, pela Equação 2:

$$L = (F/K) > 4 \quad (\text{Eq.2})$$

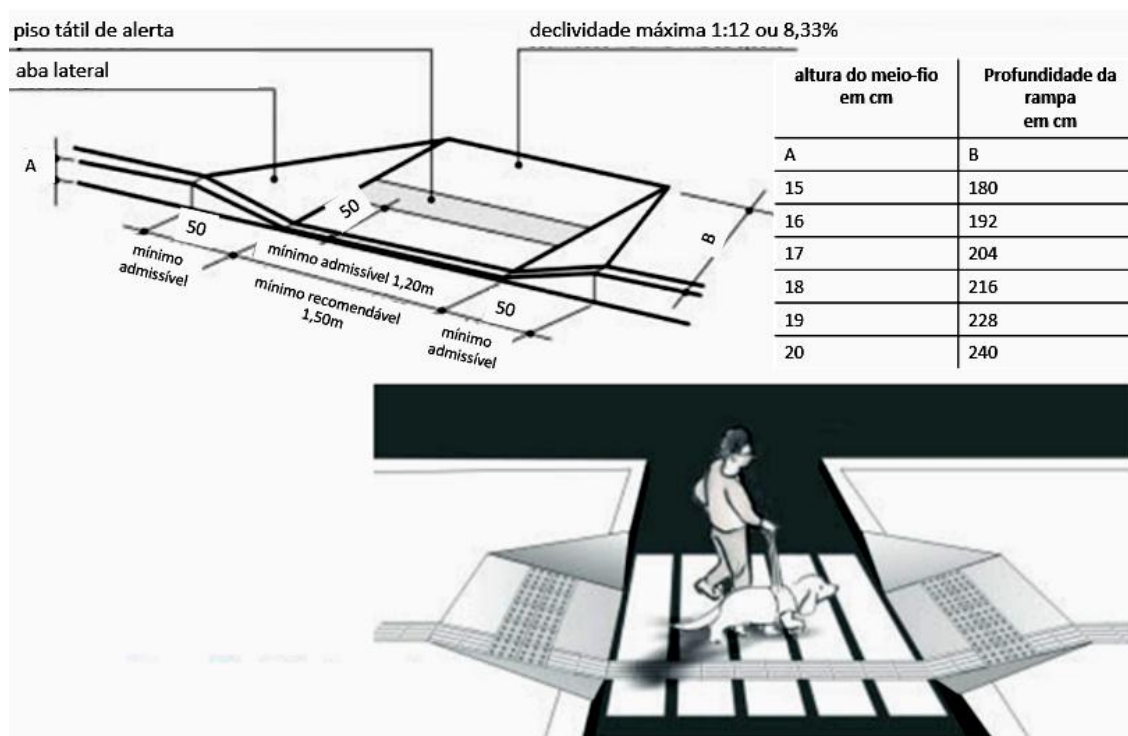
Onde:

L = largura da faixa (em metros)

F = Fluxo de pedestres estimado ou medido nos horários de pico

K = 25 pedestres/min

Figura 5 – Rebaixamento de calçadas para travessia de pedestres



Fonte: Guia de Acessibilidade Urbana/CREA-MG(2006)

- calçadas devem ser rebaixadas junto às faixas de travessia de pedestres (com ou sem semáforo) e sempre que houver foco de pedestres. A inclinação da rampa não deve ser superior a 8,33% (1:12) e deve ser sinalizada com piso tátil de alerta. Conforme o caso, o rebaixamento pode apresentar diferentes configurações:

- Rebaixamento total da calçada na esquina;
- Rebaixamento total da largura da calçada, com largura mínima de 1,50m e com rampas laterais com inclinação máxima de 8,33% (quando a largura do passeio não for suficiente para acomodar o rebaixamento e a faixa livre);
- Rebaixamento, de no mínimo 0,80m, sendo recomendável 1,20m (para faixa livre de passeio, além do espaço ocupado pelo rebaixamento)

Pela NBR 9050/2004 calçada rebaixada é rampa construída ou implantada na calçada ou passeio, destinada a promover a concordância de nível entre estes e o leito carroçável.

- pisos devem apresentar superfície regular, continua, sem ressalto ou depressão, firme, estável, antiderrapante (sob quaisquer condições climáticas), de

forma a não provocar trepidação em dispositivos com rodas. A inclinação transversal da superfície deve ser no máximo 3% para pisos externos e inclinação longitudinal máxima de 5%, pois, acima desta o piso será considerado rampa.

- a inclinação máxima em rampa recomendada para vias de pedestres é de 8,33% (para rotas acessíveis). Inclinações até 12,5% são utilizadas com restrições, mas não fazem parte de rotas acessíveis. Inclinação transversal deve ser no máximo 3% em rampas externas, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Inclinação transversal e largura de rampas



Fonte: NBR 9050/2004

A inclinação de rampas é calculada pela Equação 3:

$$I = (h/c) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

i=inclinação

h=desnível

c=comprimento

- inclinação transversal de calçadas, passeios e vias exclusivas de pedestres não deve ser superior a 3%. Eventuais ajustes de soleira devem ser executados sempre dentro dos lotes.

- inclinação longitudinal de calçadas, passeios e vias exclusivas de pedestres deve sempre acompanhar a inclinação das vias lindeiras. Recomenda-se que, a inclinação longitudinal das áreas de circulação exclusivas de pedestres seja de no máximo 8,33% (1:12). Calçadas, passeios e vias exclusivas de pedestres que tenham inclinação superior a 8,33% (1:12) não podem compor rotas acessíveis.

Pela NBR 9050 **rota acessível** é o trajeto contínuo, desobstruído e sinalizado, que conecta os ambientes externos ou internos de espaços e edificações, e que possa ser utilizado de forma autônoma e segura por todas as pessoas, inclusive aquelas com deficiência. Nesta pesquisa será considerada a **rota acessível externa** que pode incorporar estacionamentos, calçadas rebaixadas, faixas de travessia de pedestres, rampas já que trata-se de acessibilidade aos espaços urbanos em vias públicas para pessoas em cadeiras de rodas.

A nível municipal a Lei Complementar nº 4.522, de 7 de Março de 2014 estabelece novos padrões de calçadas e critérios para a sua construção, reconstrução, conservação e utilização de calçadas no Município de Teresina. A Lei destaca que:

- A circulação no passeio deve ser feita de forma acessível, autônoma e segura para todas as pessoas, sem limitações de qualquer natureza, independentemente de idade, estatura, limitação de mobilidade ou percepção.

- A execução, manutenção de calçadas e passeios públicos, a instalação de mobiliários urbanos e arborização deverão seguir os seguintes princípios, entre outros: I - Acessibilidade: permitir rotas acessíveis integradas e contínuas, que facilite o uso do mobiliário urbano e acesso aos espaços públicos, comerciais, de lazer, habitação, entre outros, de maneira a garantir a mobilidade e acessibilidade universal; II - Segurança e autonomia: a implantação do mobiliário urbano nas calçadas, passeios públicos, caminhos e travessias devem ser instalados de forma segura, a fim de minimizar o risco de acidentes e garantir a autonomia do pedestre; III - Desenho Urbano: a execução das calçadas deve ser condicionada a todas as variantes do desenho urbano, como adequação, custo, benefício, estética, normas técnicas, identidade e qualidade do espaço urbano.

A presença de mobiliários urbanos nas calçadas deverá estar preferencialmente na faixa de serviço. Será permitido o alargamento da faixa de serviço em pontos eventuais onde seja necessária a instalação de mobiliários de largura superior a 1,00m, desde que sejam respeitadas as condições de acessibilidade da faixa livre.

Pela lei complementar nº 4.522/2014 faixa de serviço é a área localizada junto à guia do meio fio, destinado a receber mobiliário urbano, equipamentos urbanos,

vegetação, rampas, etc., devendo ter a largura mínima de 0,70 m (setenta centímetros).

A área das esquinas entre os pontos de concordância deverá ser livre de obstáculos, sendo admitidas somente as rampas para acesso da pessoa com deficiência ou mobilidade reduzida e sinalizações viárias, que se fizerem absolutamente necessárias, em conformidade com a legislação de trânsito para sinalização vertical.

O Capítulo IV é reservado para acessibilidade e destaca:

- A adequação dos passeios quanto à acessibilidade devem incorporar dispositivos nas condições especificadas na NBR 9050 da ABNT ou norma técnica oficial superveniente que a substitua, bem como nas resoluções municipais específicas.

- Desníveis de qualquer natureza deverão ser evitados em rotas acessíveis.

- Eventuais desníveis no piso de até 5 mm (cinco milímetros) não demandam tratamento especial e até 15mm (quinze milímetros) deverão ser tratados em forma de rampa, com inclinação máxima de 1:2 (um por dois) ou 50% (cinquenta por cento).

- E casos especiais de rampas e escadarias, poderá ser exigida a instalação de dispositivos de assistência, como corrimãos, guias de balizamento, desde que não interfiram na faixa de livre circulação e não se comportem como interferências, prejudicando a paisagem urbana.

- Passeios com declividade acima de 8,33% (oito vírgula trinta e três por cento) não serão considerados rotas acessíveis.

Nas calçadas com largura igual ou superior a 2,00 m (dois metros) será obrigatória a execução de caixa de árvore com área permeável mínima de 2,00 m² (dois metros quadrados), sendo pelo menos uma por lote.

Os pavimentos dos passeios deverão estar em harmonia com seu entorno, contínuos, não apresentar desníveis, ser construídos, reconstruídos ou reparados com materiais e padrões apropriados ao tráfego de pessoas, evitando o uso de pedras naturais e peças cerâmicas, a fim de constituir uma rota acessível aos pedestres que neles caminhem, com superfície regular, firme, antiderrapante e sem obstáculos.

São vedados anúncios em placas colocadas sobre os passeios públicos e quaisquer anúncios cuja projeção incida sobre a área da calçada.

Os sinais de tráfego, semáforos, postes de iluminação urbana ou quaisquer outros elementos verticais de sinalização somente poderão ser instalados na faixa de serviço, devendo esses equipamentos ser dispostos de forma a não dificultar ou impedir a circulação de pessoas, quando instalados próximos ao itinerário e ao espaço de acesso aos pedestres.

Para instalação de trailers nas calçadas, a Lei Complementar afirma que não é permitida a instalação e funcionamento de trailers: - sob abrigo de parada de ônibus; - nos passeios lindeiros aos prédios de hospitais, escolas, templos religiosos, museus, repartições públicas e instituições militares; - sobre áreas ajardinadas das praças e passeios públicos; - em calçadas de largura inferior a 3,00m (três metros); - em áreas que venham, de alguma forma, a comprometer a segurança e o sossego público.

A Lei Municipal também rege a instalação de bancas de jornais, revistas e livros, e devem ser observadas as dimensões seguintes: - comprimento máximo de 5,50 m (cinco metros e cinquenta centímetros); - permitir faixa livre de 1,5 m (um metro e cinquenta centímetros) adjacente à banca e acesso à banca voltada para a faixa livre; - altura máxima de 3,00 m (três metros); - distância mínima de 15,00 m (quinze metros) da esquina; - distância mínima de 0,40 m (quarenta centímetros) do meio fio; - distância mínima de 3,00 m (três metros) de entrada e saída de veículos; - distância de 2,00 m (dois metros) do eixo da copa da árvore.

No caso de calçadas já existentes, como na área da pesquisa, o proprietário ou titular do uso do imóvel tem o prazo de 01 (ano) para adaptar a calçada ao parâmetro estabelecido na Lei Complementar.

Quanto a representação espacial observa-se que, imagens de satélite de alta resolução e ortofotos em escalas grandes permitem a identificação e a análise dos elementos contidos no espaço urbano para pessoa em cadeira de rodas. Segundo Vasques (2009) a informação geográfica a ser identificada e caracterizada faz-se em função da escala de análise, determinada pela dimensão da zona de interesse e o tipo de fenômeno a ser estudado. A legibilidade dos elementos é feita em relação à escala, que determina o nível de detalhe da informação, como mostra a Quadro 4.

Quadro 4 – Tipos de Aplicação de Sensoriamento Remoto em Função da Escala

Aplicações	Escala	Resolução Espacial	Imagens Atuais
Cartografia de base	1:1.000 a 1:2.000	20 a 60cm	Ortofotos, Quickbird
Nível tático Planejamento do território	1:5.000 a 1:10.000	60cm a 1m 1 a 5m	Ortofotos, Ikonos, Quickbird, Spot 6
Nível estratégico Prospectivo	1:100.000 a 1:1.000.000	15 e 30m	Landsat 8(OLI)

Fonte Adaptada: Puissant e Weber (2003)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 RECURSOS TECNOLÓGICOS

3.1.1 Base de Dados Espaciais

- Base Cartográfica Digital Municipal, escala 1:1.000 cedida pela AGESPISA.
- Ortofoto digital, escala 1:1.000, ano 2013

3.1.2 Programas Computacionais

- Programa livre para SIG – Quantum GIS
- Programa livre para modelagem de banco de dados espaciais e SGBD - PostgreSQL/PostGIS.
- Programa livre para roteamento – PgRouting (PostGIS).
- Google Earth Pro – *streetview*

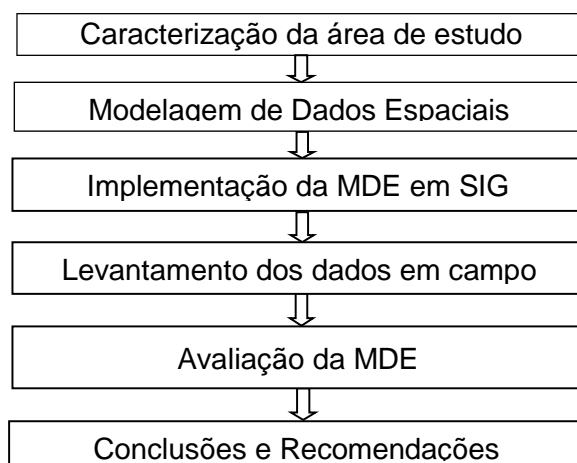
3.1.3 Equipamentos Eletrônicos e Computacionais

- *Notebook* Intel Core, 1.8 GHZ, 8 GB
- Instrumento de medição – trena
- Câmera fotográfica digital

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi desenvolvida em sete etapas, dispostas sequencialmente, para alcançar os objetivos propostos. A Figura 7 apresenta as etapas executadas e em seguida é apresentado detalhadamente as atividades referentes a cada uma.

Figura 7 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autora (2016)

3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

3.2.1.1 O Município: Teresina

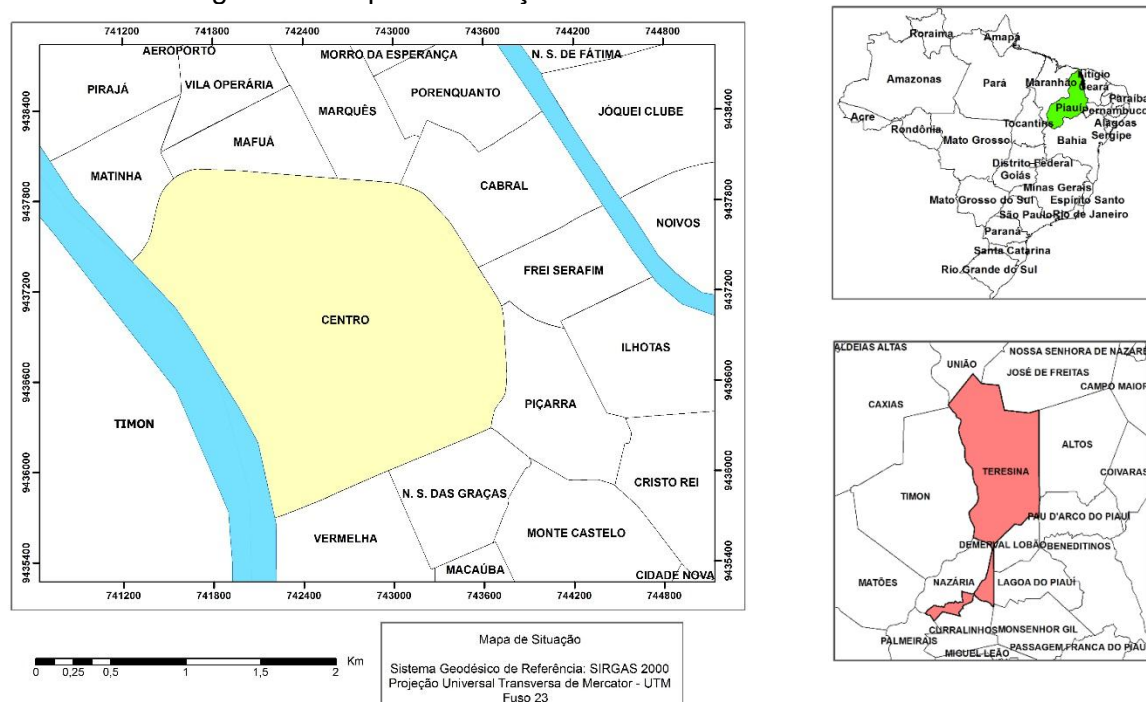
A pesquisa foi desenvolvida no município de Teresina, capital do Piauí, cuja área é de 1.391,9km², população de 814.230 habitantes, densidade demográfica de 585hab/km². Dessa população 767.557 pessoas residentes na zona urbana (17%) e 46.673 na zona rural (83%) (IBGE, 2010). Faz divisas territoriais com dez municípios piauienses e um município do estado do Maranhão, o município de Timon (SEMPPLAN, 2015). A principal atividade econômica de Teresina é o setor terciário, especialmente o comércio e a prestação de serviços com destaque para a saúde.

3.2.1.2 A Área da Pesquisa: Centro

O bairro Centro foi o território escolhido para aplicação da Modelagem proposta. As coordenadas geográficas de referência do centro urbano estão, assim, determinadas por Reis Filho (2012): Latitude 05°05'21"S; Longitude 42°48'07"WGr.; Altitude média 72 metros, ilustrada na Figura 8.

A escolha do bairro como área de estudo se deve ao fato de possuir uma relação funcional para Teresina e por ser uma área de convergência da população, que busca principalmente do comércio, educação, saúde e outros serviços públicos.

Figura 8 – Mapa de Situação do bairro Centro de Teresina/PI



Fonte: Elaborada pela Autora (2015)

3.2.1.3 Região da Coleta dos Dados: Polo de Saúde de Teresina

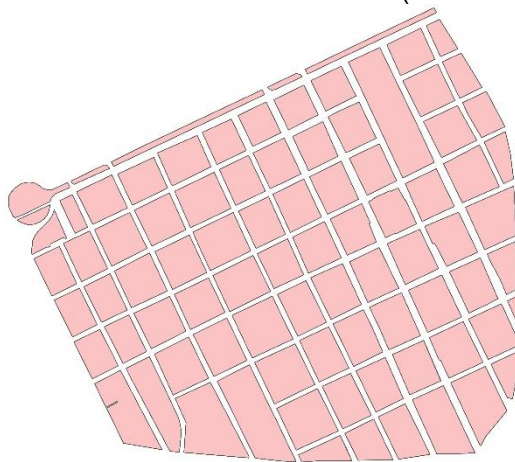
A área de estudo da Modelagem é predominante da prestação de serviços de saúde. A área constitui um centro de referência regional pela qualidade dos serviços prestados, e assim, foi dividida pela Prefeitura Municipal de Teresina, na Agenda 2015 (2005):

- Sub-Área 01: Bairro Mafuá – Hospital de Terapia Intensiva, Clínica e Maternidade Santa Fé e Hospital das Clínicas de Teresina, Sanatório Meduna, Hospital Areolino de Abreu e SEPAM;
- Sub-Área 02: Centro – Hospital Getúlio Vargas, Hospital de Doenças Infecto Contagiosas, Hospital Infantil Lucídio Portela, Hospital São Marcos, Hospital Santa Maria, São Lucas, Procardíaco, Itacor, Med Imagem, Clínica Lucídio Portela, Max Imagem, Instituto Lívio Parente, Radimagem, Medical Center, Clinefro, Clínica Santa Clara, COT, Clínica Dr. Francisco Vilar, Centro de Catarata, Santa Luzia, CPO, Clínica Santo Antônio e Unidade de Diagnóstico por Imagem – UDI.

- Sub Área 03: Bairro Piçarra e Ilhotas – Hospital da Polícia Militar, Maternidade Evangelina Rosa, Casamater, França Filho, Prontocor e SAMIU.

A Sub-Área 02 foi selecionada como área de estudo devido a maior concentração de pessoas na busca por atendimento e tratamento de saúde, tanto pela concentração hospitais como pela facilidade em acesso ao transporte público urbano. Na coleta dos dados foram identificados outros equipamentos de saúde, não listados, os mesmos foram incorporados a base de dados, ilustrada na Figura 9.

Figura 9 – Área da coleta dos dados (Polo de Saúde)

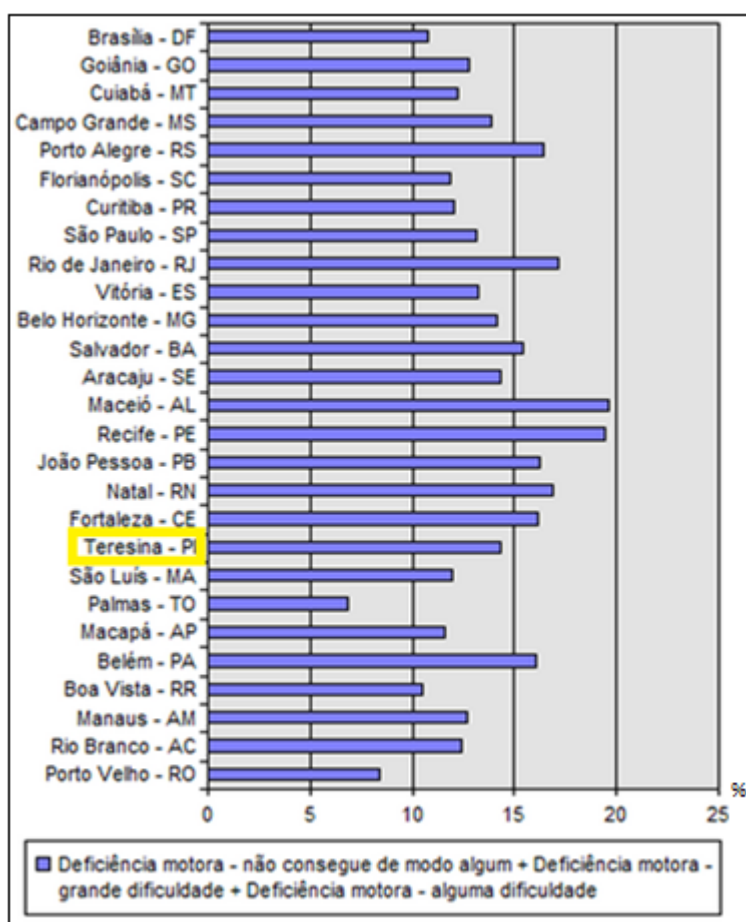


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.2.1.4 Acessibilidade e População com Deficiência

De acordo com os dados do último Censo o Estado do Piauí ocupa a 16ª posição no ranking Nacional (11%) com maior número de pessoas com deficiência motora. A cidade de Teresina está na 10ª colocação entre as capitais brasileiras, com 14% pessoas com deficiência motora, segundo domicílio urbano, todos os sexo e todas as idades, como ilustra a Figura 10.

Figura 10 - População com Deficiência Motora nas Capitais das Unidades da Federação



Fonte: IBGE (SIDRA), Censo Demográfico 2010

As dificuldades para transitar pelas ruas do polo de saúde, Sub-Área2, são perceptíveis pelas precárias condições físicas das calçadas, comprometendo os deslocamentos tanto para pedestres quanto para pessoas em cadeiras de rodas. As calçadas apresentam diferentes níveis, texturas diferenciadas, mau estado de conservação, muitas são estreitas, e há presença de postes de iluminação, placas, árvores entre outros obstáculos, indo de encontro com a NBR 9050/2004 e a Lei Complementar nº 4.522/2014. Dessa forma a população é estimulada a transitar pelas ruas disputando espaço com os veículos, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Condição das calçadas e bloqueio pela presença de poste de iluminação



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Outro fato que agrava a acessibilidade e mobilidade no bairro é a prática de veículos estacionados ao longo das calçadas, considerados obstáculos atitudinais, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Veículos estacionados nas calçadas



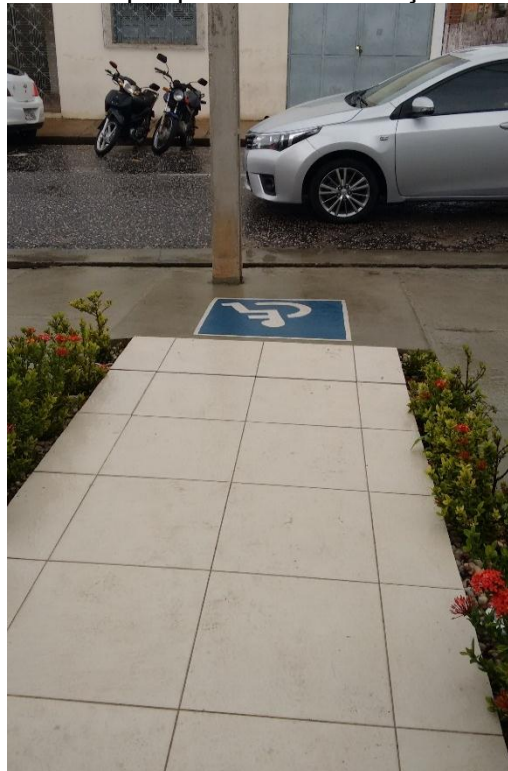
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Também é possível observar rampas quebradas e obstáculos ao longo das calçadas que impedem o acesso aos estabelecimentos de saúde, como mostram as Figuras 13a e 13b.

Figura 13a – Calçadas rebaixadas quebradas



Figura 13b – Obstrução no acesso ao lote por postes de iluminação



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.2.2 Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade

A Modelagem de Dados Espaciais empregada seguiu a metodologia do modelo OMT-G. Os graus de complexidade de cada uma das fases estabelecidas, são: - escolha dos elementos do espaço urbano para acessibilidade a representar; - criação do modelo conceitual representando os objetos em classes, atributos e relacionamentos; - apresentação das entidades geográficas conforme os conceitos de geo-objeto, geo-campos e rede de acessibilidade e, a implementação computacional através de algoritmos no SGBD espacial PostgreSQL/PostGis.

A) Mundo Real

Os seguintes elementos do espaço urbano foram selecionados para compor a Modelagem dos Dados Espaciais: bairro, logradouro, quadra, calçada, calçada rebaixada, rampa, parada de transporte público e obstáculos físico. As variáveis urbanas escolhidas foram definidas conforme os parâmetros e exigências técnicas da

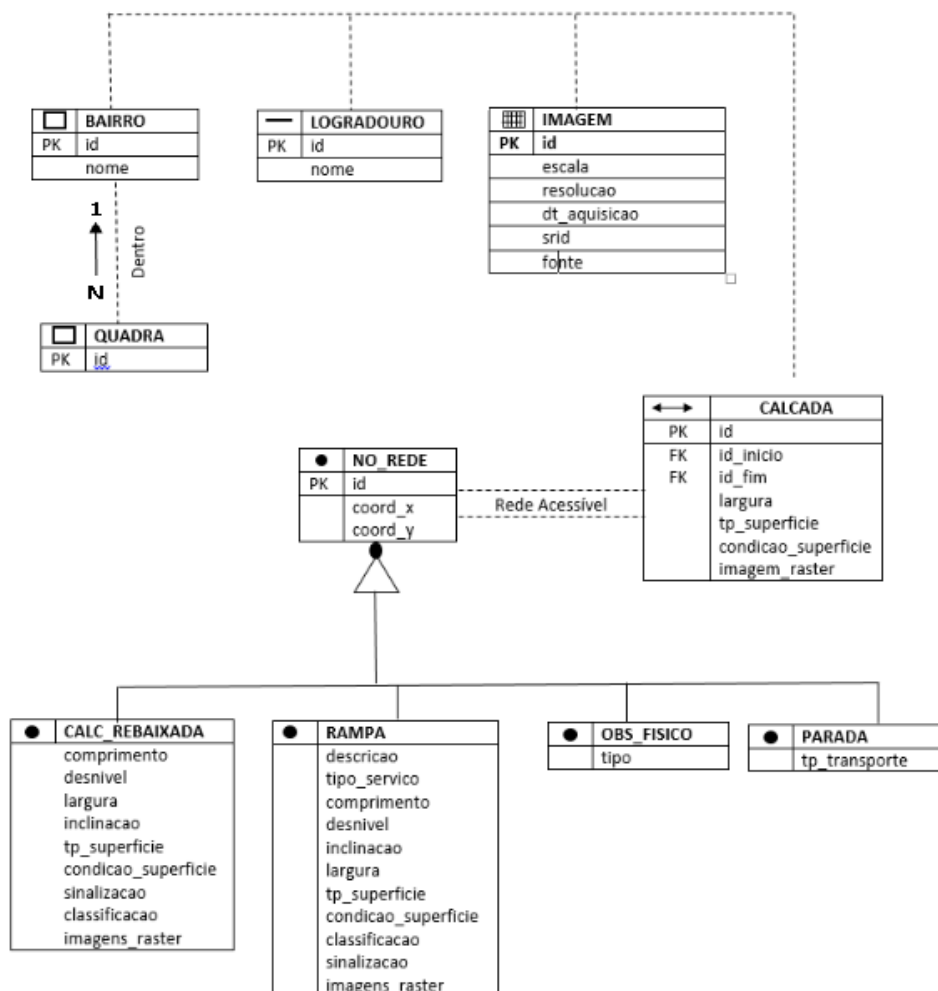
NBR 9050/2004 e propostos por Kasemsuppakorn e Karimi (2008) e, Ding et al. (2007).

B) Modelo Conceitual

As classes que compõem o Diagrama são: BAIRRO, LOGRADOURO, QUADRA que correspondem às classes vetoriais e uma classe *raster* denominada IMAGEM, todas representando o cadastro urbano. E classes vetoriais específicas para acessibilidade, sendo: NO_REDE, CALCADA, CALCADA_REBAIXADA, RAMPA, PARADA, OBS_FISICO.

A escolha das classes possibilita estabelecer uma conexão entre o cadastro urbano da cidade e as entidades envolvidas para acessibilidade. A Figura 14 apresenta a estrutura semântica das classes e como estão relacionadas.

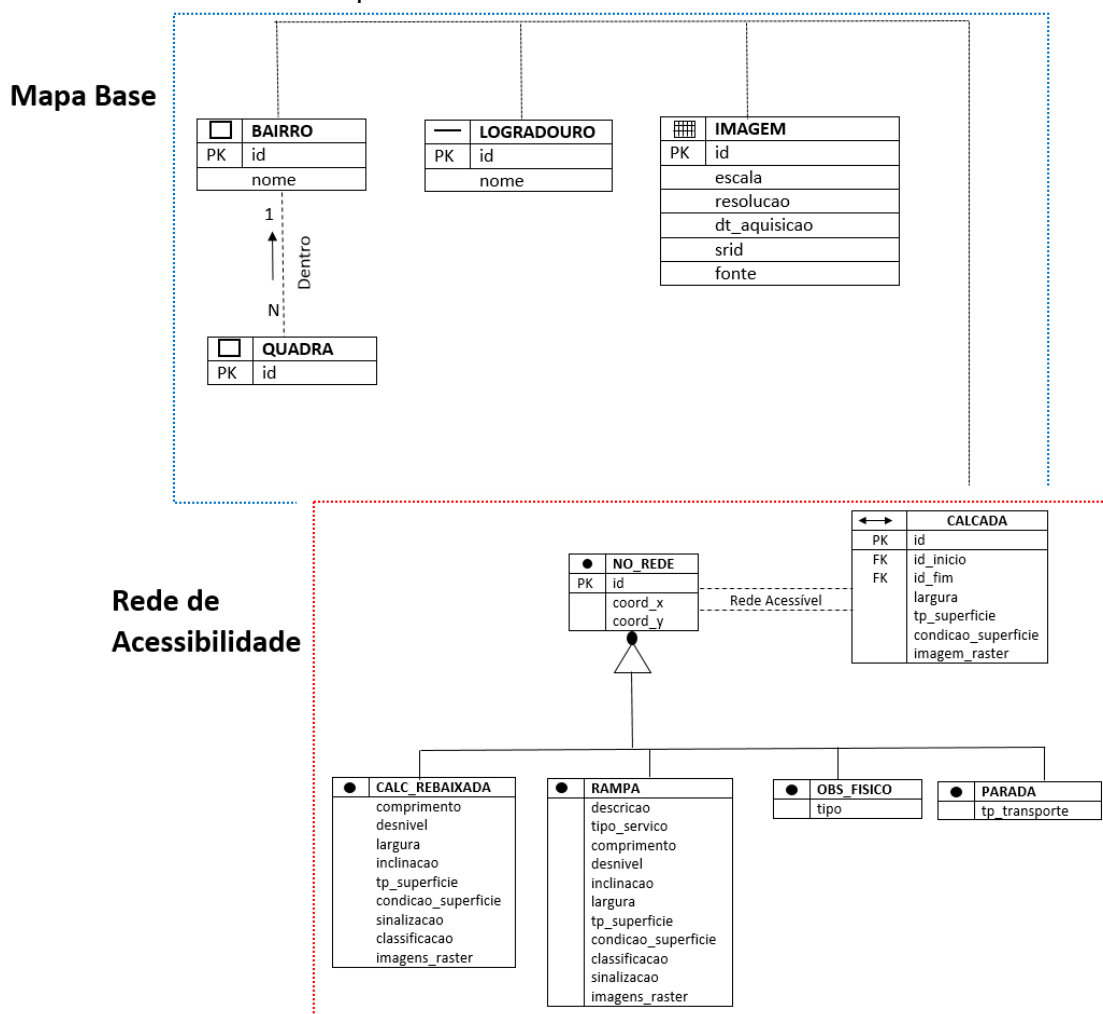
Figura 14 – Modelo Conceitual da Modelagem de Dados Espacial para Acessibilidade



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

No modelo as classes estão agrupados em ordem decrescente de abrangência geográfica e dependência geométrica entre elas. A MDE para acessibilidade combina classes referentes ao cadastro urbano denominada Mapa Base e classes representando os objetos do ambiente urbano para pessoas em cadeiras de rodas denominada Rede de Acessibilidade, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Diagrama de Classes da Modelagem de Dados Espacial para Acessibilidade em Mapa Base e Rede de Acessibilidade



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A primeira parte do modelo referente ao Mapa Base contém as classes para representação geográfica a nível municipal e são suporte para a segunda parte do modelo Rede de Acessibilidade. Desta forma, esta distribuição tem a finalidade de facilitar a interpretação visual da modelagem na fase de implementação da base de dados espaciais.

Os atributos presentes em cada Classe representam as características específicas que devem ser analisadas na fase da coleta dos dados em campo após a criação da base de dados espaciais.

As classes apresentam conexões entre si definidas através dos relacionamentos e cardinalidades que permitem que as classes compartilhem informações entre si e fundamentais para a implementação do modelo no SGBD.

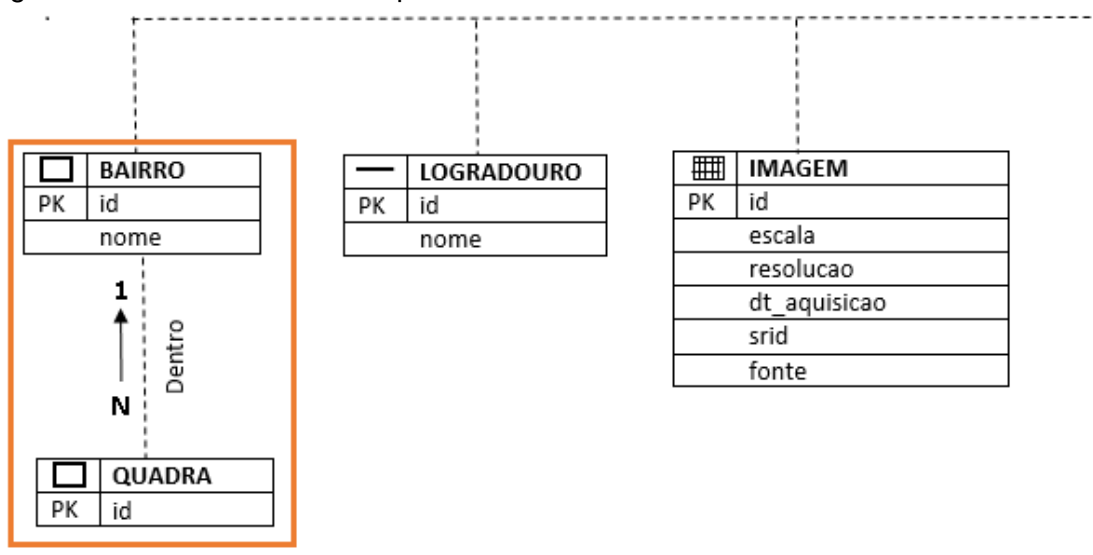
As relações topológicas entre as classes como: disjunto, contém, dentro, igual, cobre, cruza, sobreposição e outros definem o tipo de interação geográfica que ocorre entre os objetos do mundo real.

- Relacionamento topológico do Mapa base

O relacionamento utilizado no Mapa Base é do tipo Relacionamento Espacial e descreve a relação de vizinhança entre as classes no modelo. Há uma relação topológica do tipo: **dentro** (contém) entre as classes BAIRRO e QUADRA. A seta indica a direção da leitura e lê-se: **classe Quadra está dentro da classe Bairro**, conforme Figura 16.

A cardinalidade entre as classes representa o número de instâncias de uma classe em relação a outra. No modelo está indicada pela letra (N:N) e lê-se: **mais de uma quadra está dentro (contida) em mais de um bairro**, conforme Figura 16.

Figura 16 – Relacionamento Espacial e Cardinalidade entre as Classes Bairro e Quadra



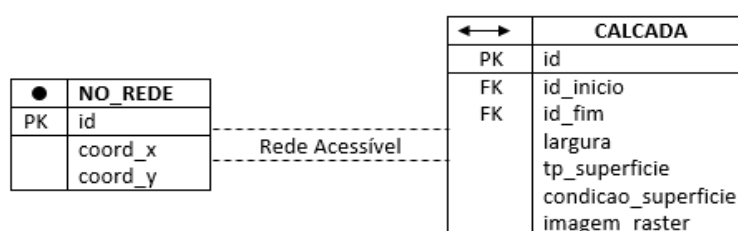
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

- Relacionamento topológico da Rede de Acessibilidade

O relacionamento utilizado na Rede de Acessibilidade é do tipo Relacionamento de Redes arco-nó entre as classes: NO_REDE e CALCADA, fundamental na construção do MDE pois indica uma relação de dependência entre esses objetos no espaço urbano.

A Figura 17 indica que a classe CALCADA, representada por um segmento de reta bidirecional, está associada a classe pontual NO_REDE. As duas linhas pontilhadas paralelas indicam o tipo de relação entre elas denominada Rede Acessível, ou seja, a classe NO_REDE, apresentada por um par de coordenadas (X,Y), indica um local no mapa definido como um ponto de decisão em que cada usuário de cadeira de roda precisa para definir a direção do trajeto através dos elementos ambientais presentes ao longo das calçadas gerando uma rede acessível.

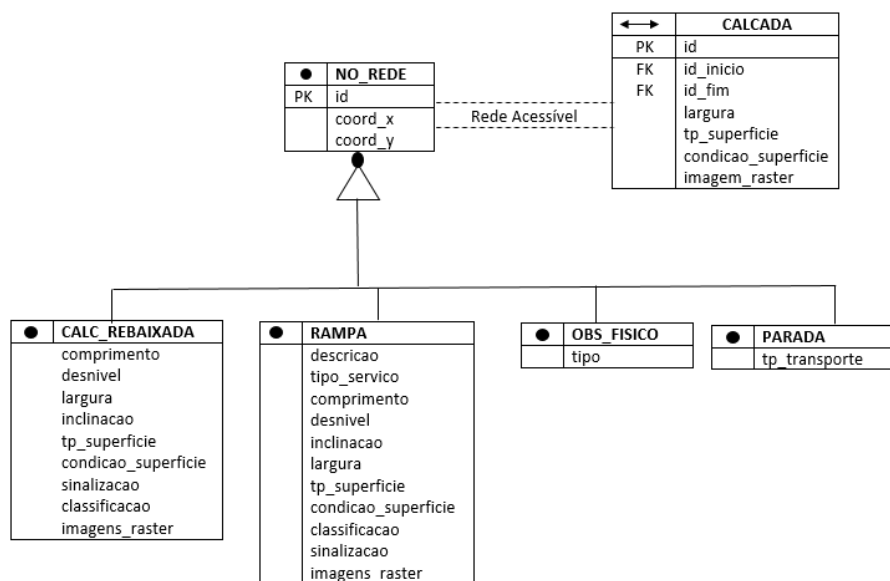
Figura 17 – Relacionamento Topológico arco-nó entre as classes no_rede e calcada



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

As classes do modelo Rede de Acessibilidade ainda se relacionam pelo processo de Especialização. Em que a classe NO_REDE denominada de superclasse se divide nas subclasses: CALÇADA_REBAIXADA, RAMPA, PARADA e OBS_FISICO que herdam a geometria, os atributos, operações e associações da superclasse. A especialização é do tipo Total-Disjunto, ilustrada na Figura 18.

Figura 18 – Processo de Especialização no MDE para Acessibilidade



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

O atributo em comum entre as subclasses do NO_REDE é o par de coordenadas e representa a localização espacial de cada uma para a mobilidade de pessoas em cadeira de rodas. Nota-se que apesar da relação de dependência e restrição entre a superclasse e as subclasses as classes possuem atributos próprios e não compartilháveis entre si.

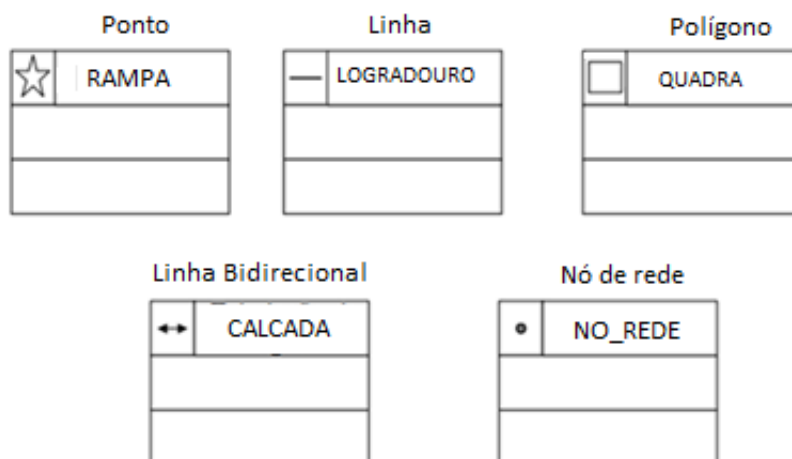
A relação entre a classe NO_REDE e as subclasses justifica-se pelo fato da NBR 9050/2004 afirmar que, todas as edificações e equipamentos urbanos devem ser acessíveis com no mínimo um acesso (rampa); o percurso entre as edificações, equipamentos urbanos, rebaixamento das calçadas e pontos de embarque/desembarque de transporte público devem interligar às entradas acessíveis e compor as rotas.

C) Modelo de Apresentação

As classes da modelagem são apresentadas sob a visão de geo-objeto e geo-campos. Cada uma das classes possui um padrão simbólico obedecendo o modelo OMT-G, como mostram as Figuras 19 e 20, respectivamente.

As classes do tipo geo-objeto definidos são: RAMPA, LOGRADOURO, QUADRA, CALCADA e NO_REDE. Representam os objetos do espaço urbano para acessibilidade pelas suas propriedades geométricas Ponto, Linha, Polígono e Nó de Rede respectivamente.

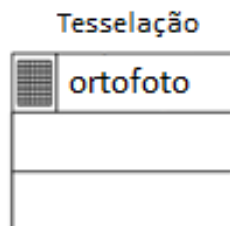
Figura 19 – Classes Geo-Objeto do MDE Acessibilidade



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A Ortofoto é a única classe geo-campo do modelo, é do tipo Tesselação e representa o conjunto de células (pixels) presente em todo domínio do espaço urbano.

Figura 20 – Classe Geo-Campo no MDE Acessibilidade



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Os padrões internos para o SIG são definidos segundo o tipo de dado, tipo de geometria assumida pelas classes, descrição dos atributos de cada classe do modelo e sistema de referência espacial, detalhados no dicionário de dados (metadados), conforme a Apêndice B. As especificações aplicadas na Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade foram definidas conforme a escala, os objetivos da pesquisa e os modelos da INDE, ilustrados nos Anexos A, B, C e D.

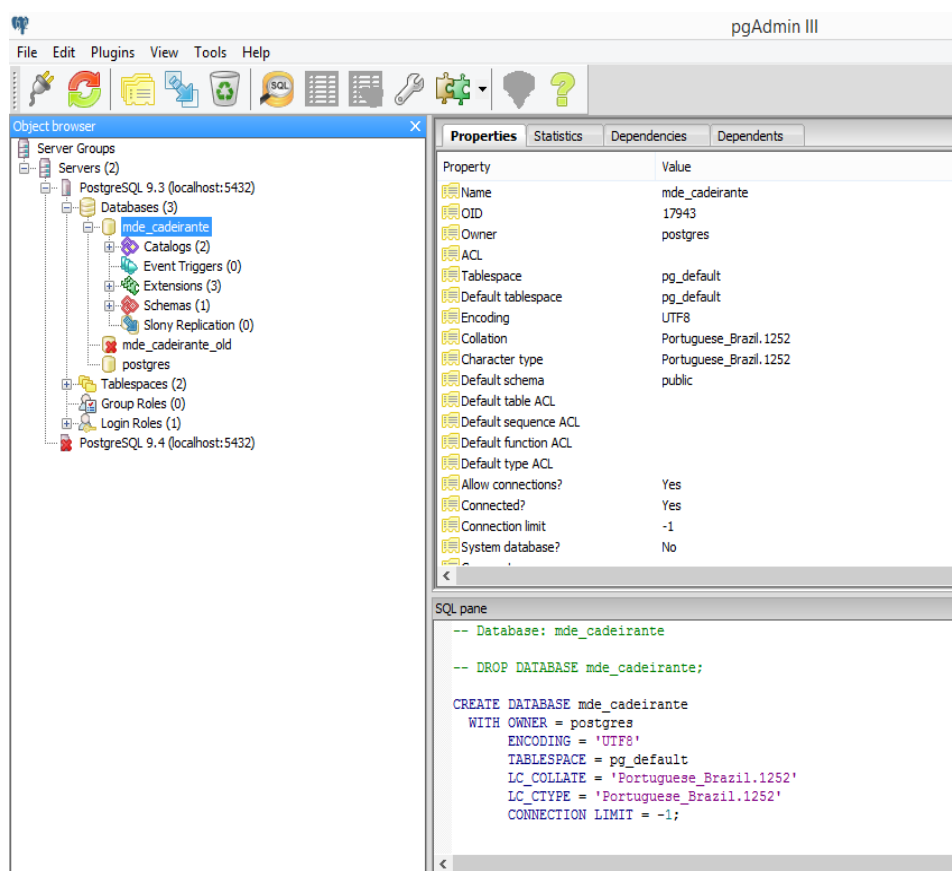
A forma como os dados estão descritos no dicionário de dados são como os dados assumem no banco de dados espaciais e implementados computacionalmente.

D) Modelo de Implementação

O último nível de abstração apresenta a criação completa da Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade. O Modelo de Implementação contém a representação computacional através da linguagem SQL para definição do modelo de dados no SGBD PostgreSQL/PostGIS conforme o dicionário de dados.

O processo inicia-se com a criação do banco de dados em PostgreSQL e definição das configurações do sistema, conforme Figura 21.

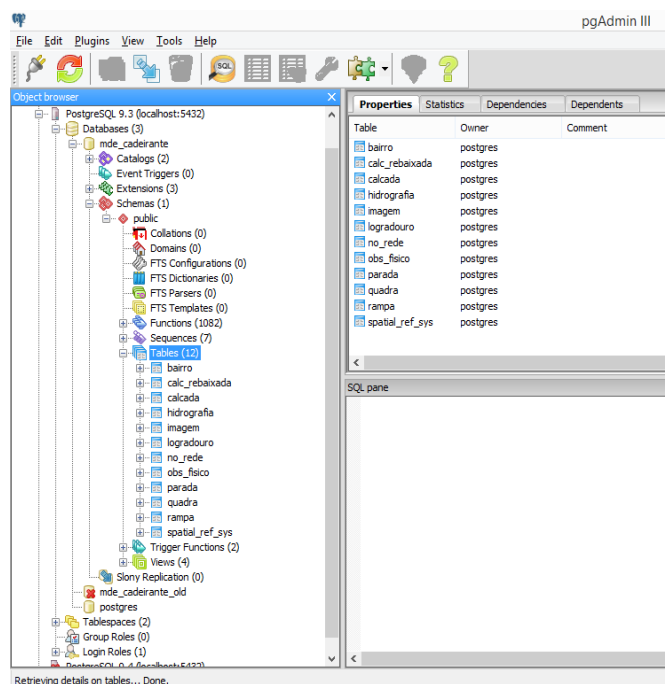
Figura 21 – Criação do projeto do banco de dados em PostgreSQL



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

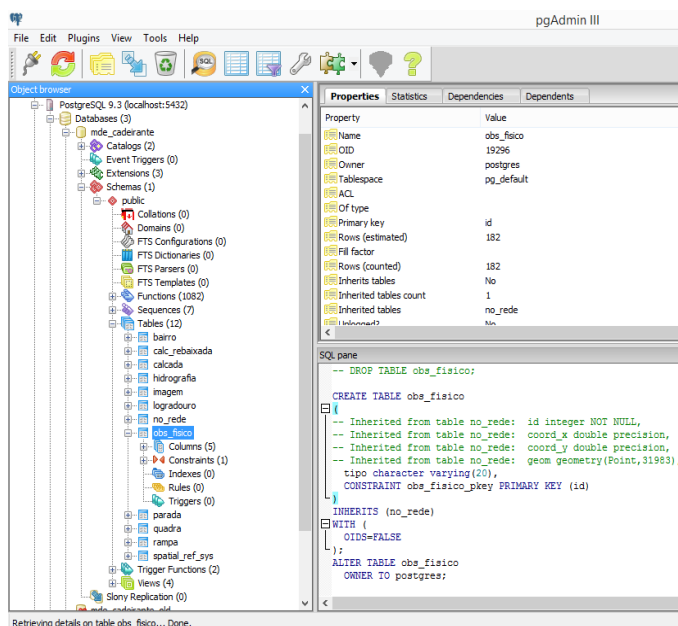
Em seguida, a criação das tabelas no banco de dados, cujo objetivo dessa ação é definir os atributos das classes do modelo de dados utilizando algoritmos específicos. Foram criadas 10 (dez) tabelas conforme as classes da modelagem: BAIRRO, QUADRA, IMAGEM, LOGRADOURO, CALCADA, CALC_REBAIXADA, NO_REDE, OBS_FISICO, PARADA, RAMPA, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Banco de Dados Espaciais



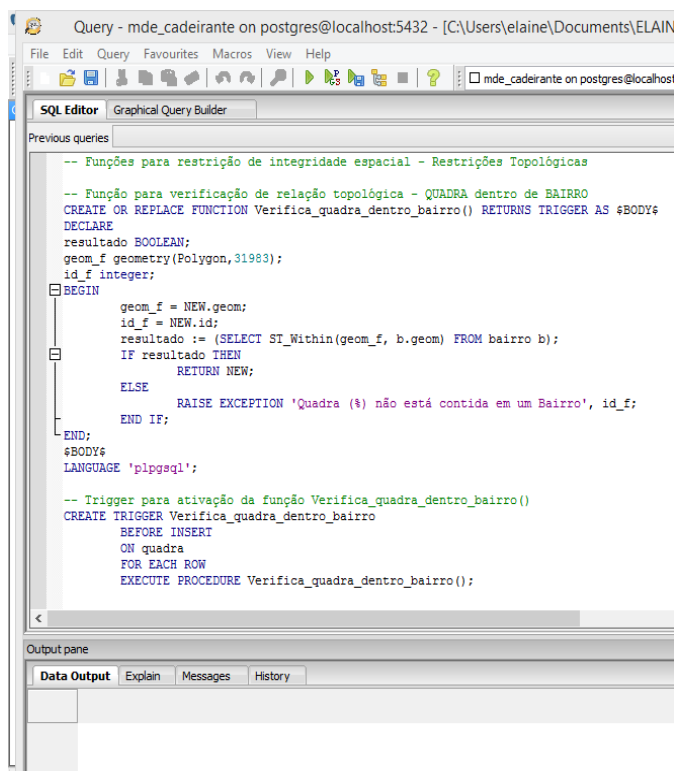
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Cada tabela espacial é construída definindo seus atributos, tipos de atributos e restrições de integridade, apresentados nas Figura 23 e 24, respectivamente. O *script* com os comandos de criação das tabelas está apresentado nos Apêndices C e D.

Figura 23 - Tabelas contendo *script* do MDE para Acessibilidade

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Figura 24 – Script de integridade espacial



```

Query - mde_cadeirante on postgres@localhost:5432 - [C:\Users\elaine\Documents\ELAIN
File Edit Query Favourites Macros View Help
SQL Editor Graphical Query Builder
Previous queries
-- Funções para restrição de integridade espacial - Restrições Topológicas
-- Função para verificação de relação topológica - QUADRA dentro de BAIRRO
CREATE OR REPLACE FUNCTION Verifica_quadra_dentro_bairro() RETURNS TRIGGER AS $BODY$
DECLARE
    resultado BOOLEAN;
    geom_f geometry(Polygon,31983);
    id_f integer;
BEGIN
    geom_f = NEW.geom;
    id_f = NEW.id;
    resultado := (SELECT ST_Within(geom_f, b.geom) FROM bairro b);
    IF resultado THEN
        RETURN NEW;
    ELSE
        RAISE EXCEPTION 'Quadra (%) não está contida em um Bairro', id_f;
    END IF;
END;
$BODY$
LANGUAGE 'plpgsql';

-- Trigger para ativação da função Verifica_quadra_dentro_bairro()
CREATE TRIGGER Verifica_quadra_dentro_bairro
BEFORE INSERT
ON quadra
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE Verifica_quadra_dentro_bairro();

```

Output pane

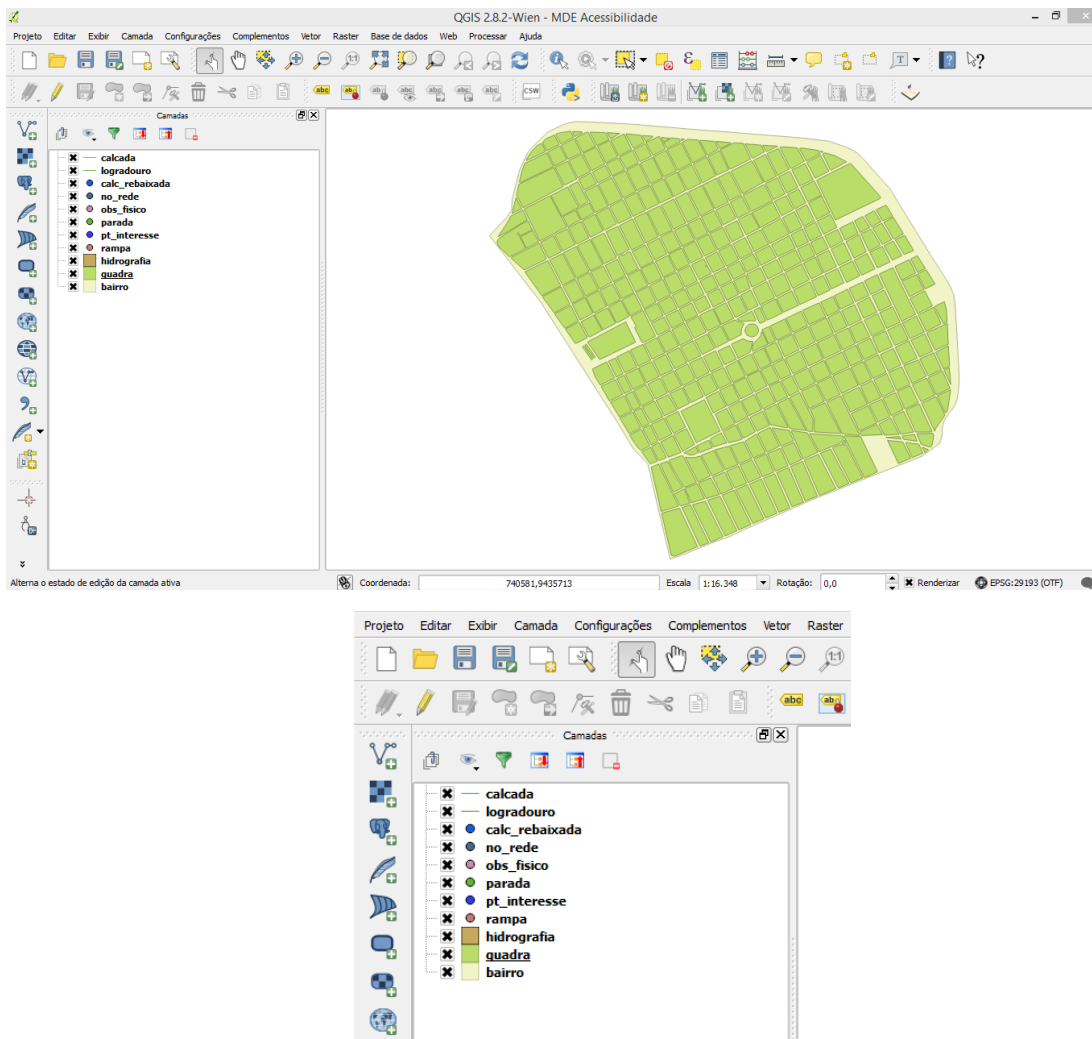
Data Output Explain Messages History

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.2.3 Implementação do MDE em SIG

Após a implementação do MDE em PostgreSQL/PostGIS tem-se a interação entre as tabelas espaciais e a visualização da base de dados espaciais em SIG. A espacialização da Modelagem de Dados Espaciais para acessibilidade foi possível através da conexão PostgreSQL/PostGIS no QGIS, assim, foi possível a visualização das classes e tabelas de atributos através da ferramenta: Adicionar camada PostGIS, como ilustram as Figuras 25 e 26, respectivamente.

Na pesquisa, o programa QGIS foi adotado desde a implementação da modelagem até os resultados gerados do banco de dados espaciais através dos mapas temáticos.

Figura 25 – Visualização das classes do *script* do PostGIS via QGIS

Fonte – Elaborada pela Autora (2016)

Figura 26 – Tabela de atributos após criação do *script* do PostGIS via QGIS

Attribute table - rampa :: Features total: 0, filtered: 0, selected: 0

id	coord_x	coord_y	comprimento	inclinação	tp_superficie	condicao_superficie	id_logradouro	classificacao
Mostrar todas as feições								

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.2.4 Levantamento de dados em campo

Após a criação da modelagem de dados espaciais segue a etapa da coleta dos dados espaciais referentes à acessibilidade e, assim, povoar a base de dados espaciais. Nesta etapa foi realizada visita em campo para identificação dos elementos e características físicas contidos no modelo Rede de Acessibilidade com os objetivos de espacializar os elementos envolvidos, avaliar qualitativamente a acessibilidade no local, testar o modelo com análise de rotas e gerar os resultados em mapas temáticos.

A região da coleta dos dados escolhida foi o polo de saúde do Município de Teresina/PI, onde está a maior concentração de hospitais, clínicas, centros de diagnósticos e laboratórios, possui 85 quadras, 1652 lotes. A coleta dos dados foi realizada no mês de janeiro de 2016.

O levantamento dos dados envolveu 3 (três) etapas, são: coleta dos dados, tratamento e processamento dos dados. Cada etapa é detalhada:

Etapa 1: Coleta dos dados

A primeira etapa contempla a coleta dos dados em campo e foram utilizados os seguintes materiais e instrumentos:

- 5 (cinco) Planilhas elaboradas no Excel;
- 2 (duas) Plantas cadastrais municipais da região de coleta dos dados;
- 1 (uma) Trena de medição;
- 1 (uma) Câmera fotográfica digital.

Os dados descritivos (atributos) de cada classe da Rede de Acessibilidade foram organizados em 5 (cinco) **planilhas** no Excel com a finalidade de identificar e qualificar os elementos do espaço físico para acessibilidade e estão nomeadas de acordo com as classes definidas na modelagem, são: rampa, calçada rebaixada, obstáculo físico, parada de transporte e calçada. As Tabelas estão apresentadas no Apêndice E.

A elaboração das planilhas foi de fundamental importância pois nelas estão contidas as informações essenciais dos elementos físicos envolvidos para análise da acessibilidade e rotas para pessoas em cadeiras de rodas. Cada característica coletada em campo foi analisada qualitativamente e inserida na base de dados espaciais na etapa de processamento dos dados.

As rampas e calçadas rebaixadas foram analisadas sob os aspectos: comprimento, largura, desnível, inclinação, tipo de material construtivo, condição física, sinalização e classificação. Com relação aos obstáculos físicos e transporte foram identificados os tipos presentes na área estudada. E as calçadas analisadas conforme o material construtivo, condição da superfície e largura conforme padrão da ABNT 9050/2004.

As **plantas cadastrais** da área do polo de saúde foram impressas na escala 1:2.000. Uma planta foi utilizada para auxiliar nos deslocamentos durante o trabalho de campo, identificar os estabelecimentos que oferecem serviço de saúde e os elementos analisados constante nas planilhas. A outra para qualificar as condições dos segmentos de calçadas. A mesma planta auxiliou no deslocamento durante as visitas em campo, na identificação dos estabelecimentos de saúde e na avaliação da qualidade das calçadas conforme o material construtivo, condição da superfície e largura.

A **trena** e a **câmera fotográfica** foram utilizadas para complementar a análise qualitativa das rampas, calçadas rebaixadas e calçadas. Com a trena foram aferidas as medidas de altura, comprimento e largura das rampas e calçadas rebaixadas e medidas de largura das calçadas. E realizado o levantamento fotográfico das mesmas.

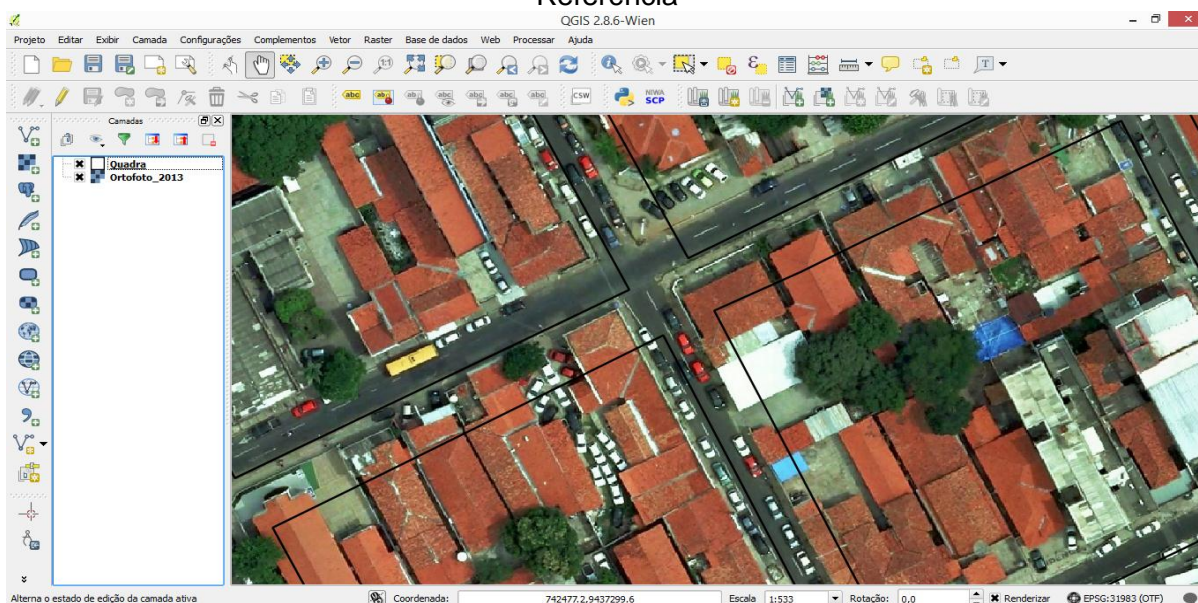
Etapa 2 - Tratamento dos dados

Esta etapa contempla o pós-processamento dos dados coletados. A base de dados cadastral municipal foi preparada para o QGIS receber os dados coletados em campo. A base de dados corresponde ao Mapa Base contido na modelagem. Ela contém arquivos vetoriais no formato *shapefile* de quadra e logradouro e um arquivo raster correspondendo a ortofoto digital municipal do ano de 2013, ambas na escala de 1:1.000.

A base de dados municipal e a ortofoto digital apresentavam sistemas de referência diferentes: a base em SAD69 e ortofoto em SIRGAS2000. Em virtude disso, houve a necessidade de conversão da base para o Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000, utilizando o QGIS, como mostra Figura 27.

Porém, mesmo com a conversão houve a necessidade de alguns ajustes topológicos das quadras e alinhamento dos eixos de logradouro com base na ortofoto que foram efetuados manualmente.

Figura 27 – Resultado topológico de bases de dados em diferentes Sistemas Geodésicos de Referência



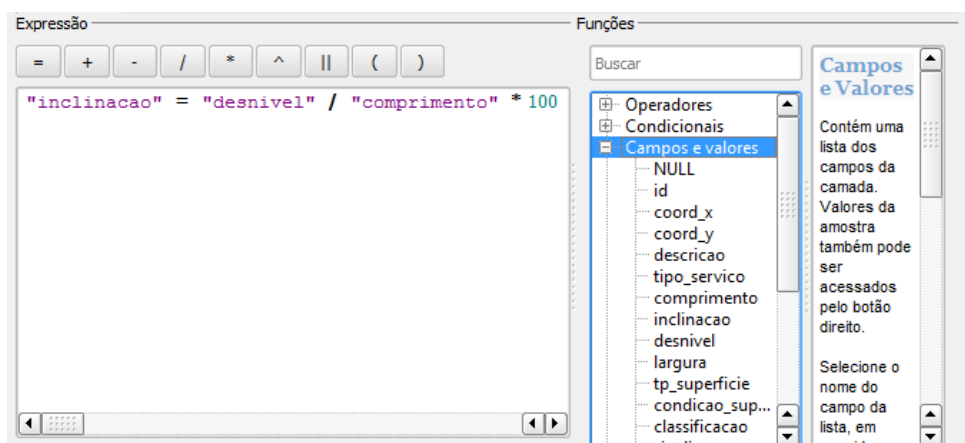
Fonte: Elaborado pela Autora (2016)

Etapa 3 - Processamento dos dados

Com todos os dados coletados e tratados segue a etapa de carga da base de dados espaciais para acessibilidade. Na etapa do processamento dos dados foi realizada a inserção dos dados das planilhas e da planta cadastral realizadas na etapa de coleta dos dados no QGIS.

Inicialmente, foi inserido os elementos pontuais correspondentes a rampa, calçadas rebaixadas, obstáculos físicos e paradas de transporte. Através da ferramenta calculadora de campo, presente no QGIS, foi possível obter os valores das inclinações das rampas e calçadas rebaixadas de forma automática, como na Figura 28. Para complementar a edição dos dados foi utilizado o *StreetView* presente no *Google Earth Pro* para conferir as características de calçadas e localização de alguns obstáculos.

Figura 28 – Calculadora de campo para obtenção dos valores da inclinação



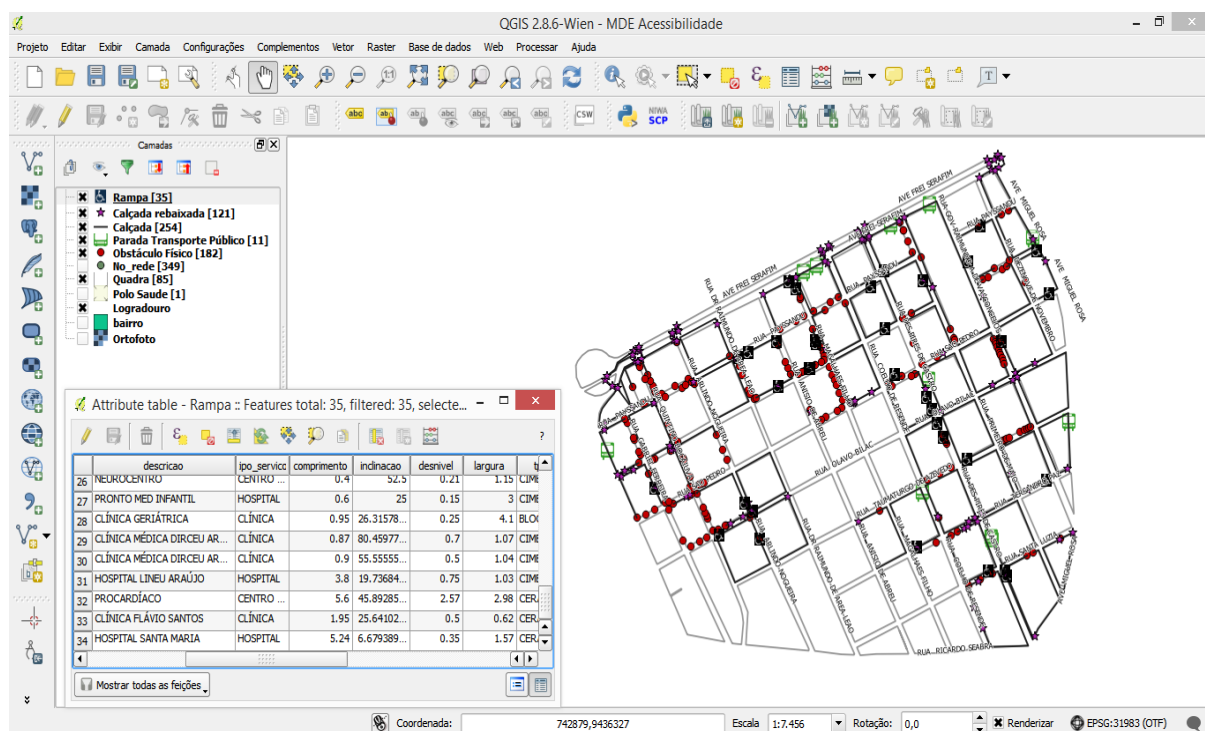
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Para finalizar foram definidas as simbologias para cada elemento da base de dados espaciais. A simbologia da classe RAMPA segue o símbolo do Desenho Universal especificado pela NBR 9050/2004, PARADA e OBS_FISICOS foram definidos conforme a CONCAR. Ao final desta etapa tem-se a Base de Dados Espaciais para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas, conforme Figura 29.

A Figura 29 apresenta a distribuição espacial dos elementos físicos para análise da acessibilidade na área de estudo, como: a localização dos acessos - rampas e calçadas rebaixadas, dos segmentos de calçadas, dos obstáculos físicos e de parada de transportes. O segmento de calçada é a *centerline* definida entre o meio-fio e o limite do lote (muro, cerca, edificação, entre outros). A localização desses elementos é importante, pois só é possível o deslocamento com segurança dos usuários de cadeiras de roda com sua análise.

Ao todo foram identificados 35 equipamentos de saúde, representados por rampas de acesso ao interior do lote, 121 calçadas rebaixadas para o deslocamento entre calçadas, 11 paradas de ônibus considerando esse o meio de transporte público mais utilizado pela população em geral, 255 segmentos de calçadas que interligam os demais elementos físicos analisados e 182 obstáculos que são impedimentos para a mobilidade e segurança de pessoas em cadeiras de rodas.

Figura 29 – Base de Dados Espaciais e tabela de atributos para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.3 AVALIAÇÃO DA MDE

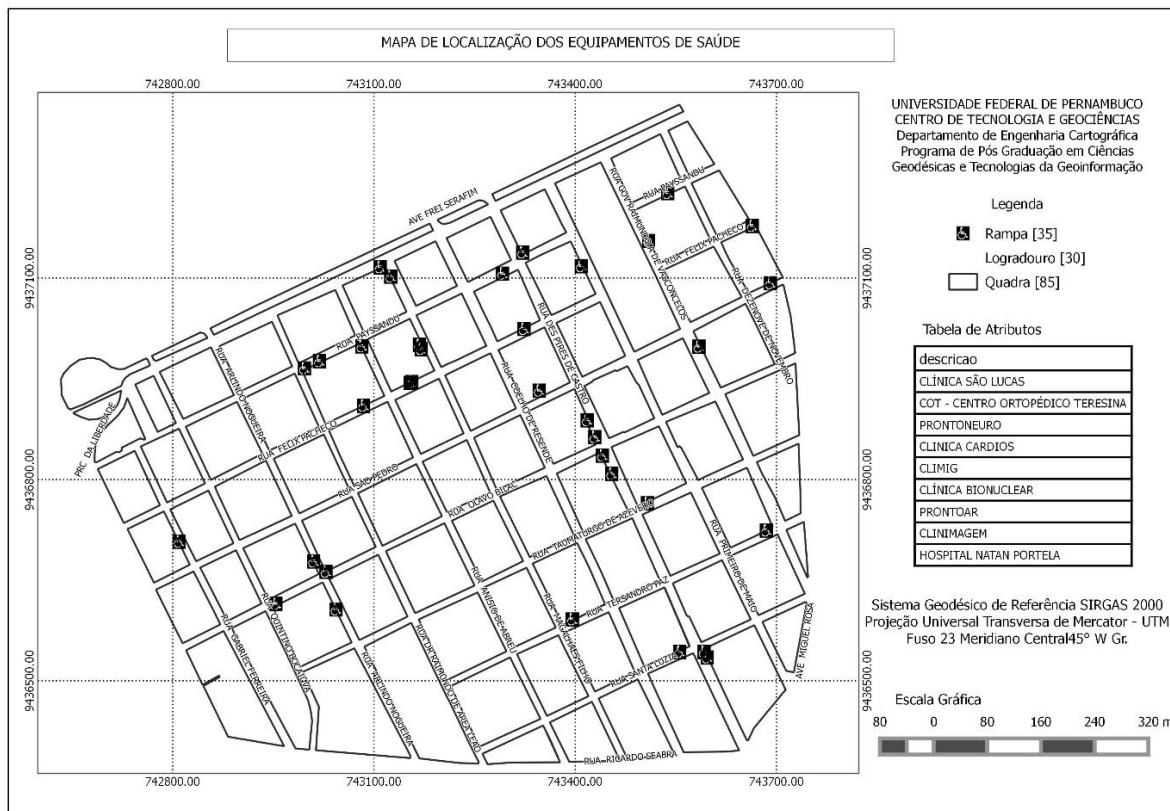
Nesta seção são apresentados os resultados da implementação da modelagem no programa QGIS. A análise da acessibilidade no espaço urbano é avaliada através de mapas temáticos e visualização de rotas geradas automaticamente.

Os mapas mostram a distribuição espacial e a análise qualitativa dos elementos físicos através de suas características (atributos) e como cada elemento compromete a acessibilidade e mobilidade de usuários de cadeiras de rodas no Polo de Saúde. As rotas mostram caminhos para acesso aos equipamentos de saúde considerando trajetos com obstáculos e sem obstáculos para teste do modelo e do banco de dados espacial.

3.3.1 Avaliação Qualitativa dos elementos físicos para Acessibilidade

A Figura 30 apresenta a distribuição espacial dos equipamentos de saúde (rampas), sendo: 15 clínicas, 10 hospitais, 01 laboratório e 09 centros de atendimento especializado.

Figura 30 – Distribuição espacial dos estabelecimentos de saúde com rampas

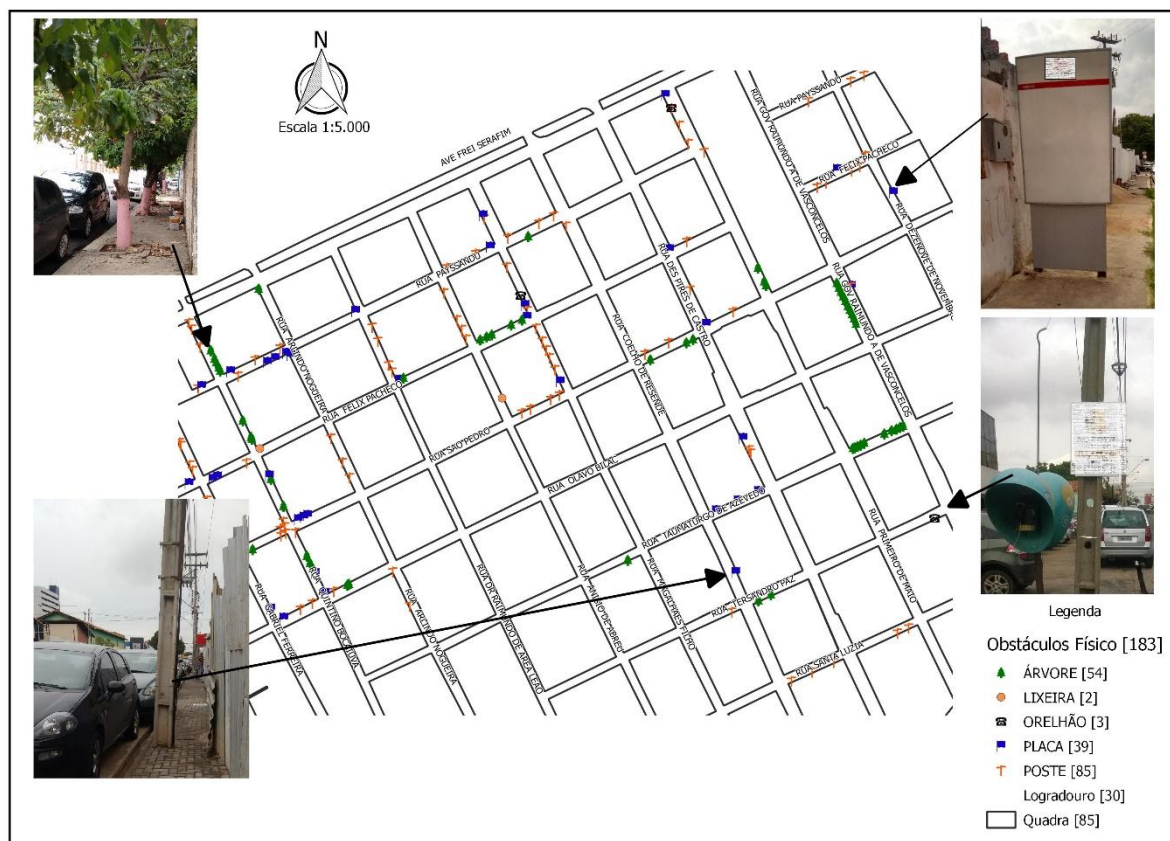


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A Figura 31 mostra a distribuição espacial dos obstáculos físicos, sendo: 54 árvores, 02 lixeiras, 02 orelhões, 39 placas, 85 postes. Pode-se afirmar que, na área estudada, a presença dos obstáculos físicos nas calçadas impossibilita o deslocamento por pessoas em cadeiras de rodas.

A NBR 9050/2004 estabelece que os espaços destinados à circulação de pessoas com deficiência devem ser desobstruídos e isentos de obstáculos que possam interferir no fluxo, como: vegetação, mobiliário urbano, entradas de edificações junto ao alinhamento, postes, postes de sinalização e orlas de árvores.

Figura 31 – Recorte da base cartográfica com os tipos de obstáculos físicos



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

As calçadas da região do polo de saúde possuem uma diversidade de obstáculos atitudinais que impossibilitam a utilização das calçadas, na sua função normal que é o trânsito de pedestres. Quando fala-se em pessoas com deficiências de mobilidade, as calçadas tornam-se inviáveis. A Norma NBR 9050/2004 e a Lei Complementar nº 4.522/2014 proíbem qualquer obstáculo, permanente e temporário, nas faixas livres e nas rotas acessíveis. Na Figura 32, encontram-se registros fotográficos como: presença de camelôs, vasos de plantas, barracas e carros, como mostram as fotografias 1, 2, 3 e 4.

Figura 32 – Presença de obstáculos atitudinais em calçadas



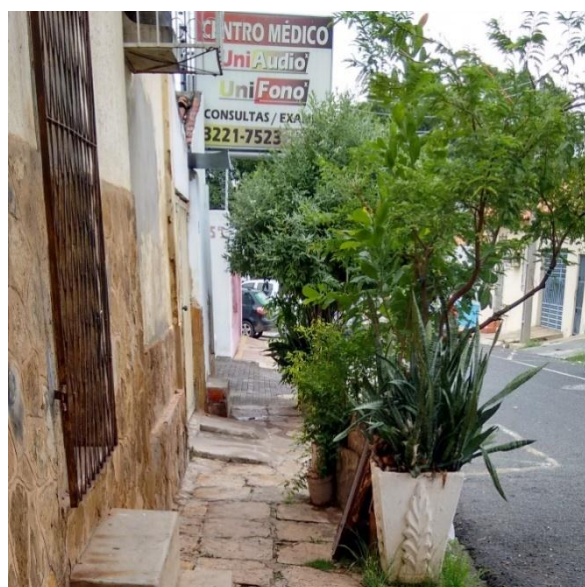
Fotografia 1 – barraca de venda de alimentos



Fotografia 2 – Camelôs nas calçadas



Fotografia 3 – Veículos estacionados em frente as entradas de estabelecimentos de saúde



Fotografia 4 – Presença de vasos de plantas em calçadas que dão acesso aos equipamentos de saúde

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Na maioria da área de estudo, verificou-se diferenças de altura ao longo dos segmentos das calçadas, conforme a Figura 33. As rampas de acesso aos lotes estão construídas irregularmente sobre o passeio bloqueando a faixa livre de circulação, identificados também em Saraiva e Sabbadini (2011).

O padrão construtivo das calçadas definido na NBR 9050/2004 não é respeitado, quanto o piso, que deve apresentar superfície regular, contínua, sem ressalto ou depressão, como pela presença de desníveis, descumprindo a Lei

Complementar nº 4.522/2014, não sendo possível mensurar as inclinações longitudinais e transversais.

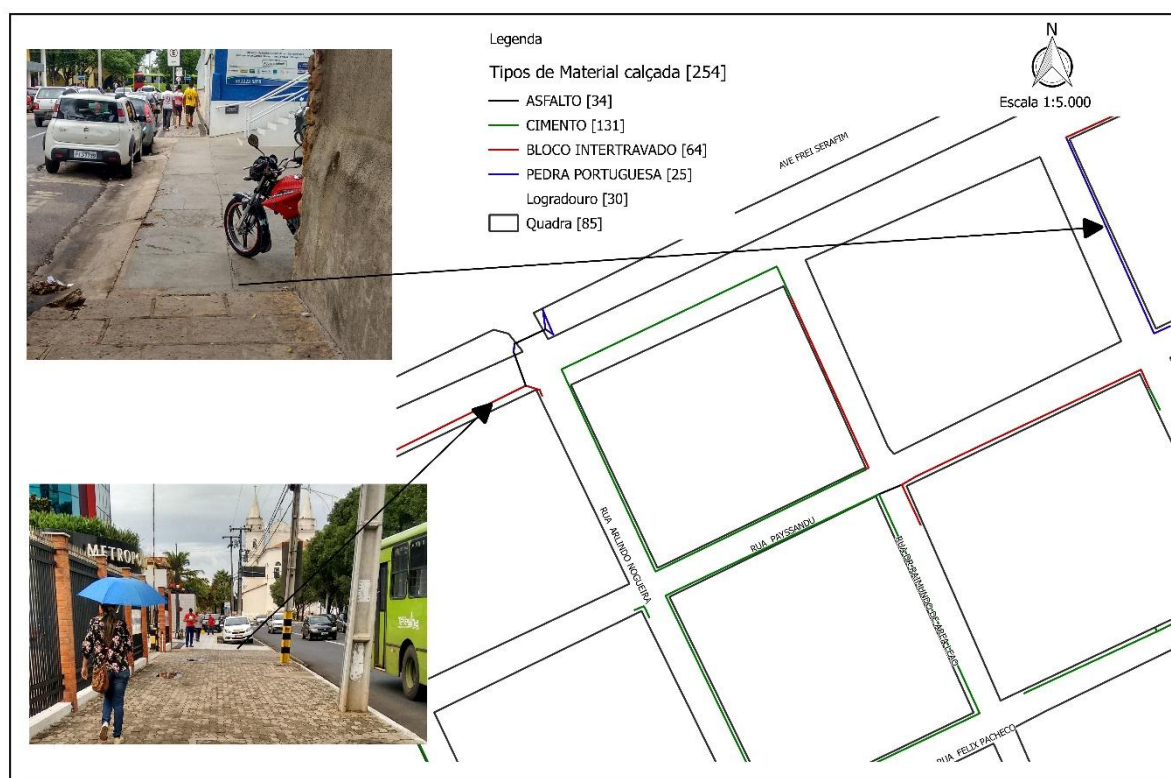
Figura 33 – Recorte da Base Cartográfica com a variedade de desníveis ao longo das calçadas



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Ao longo de várias calçadas foram identificados diferentes tipos de materiais do piso em um mesmo segmento, por isso foi considerado o material predominante no segmento, como mostram as fotografias na Figura 34.

Figura 34 – Recorte da Base Cartográfica com Tipos de Material das Calçadas

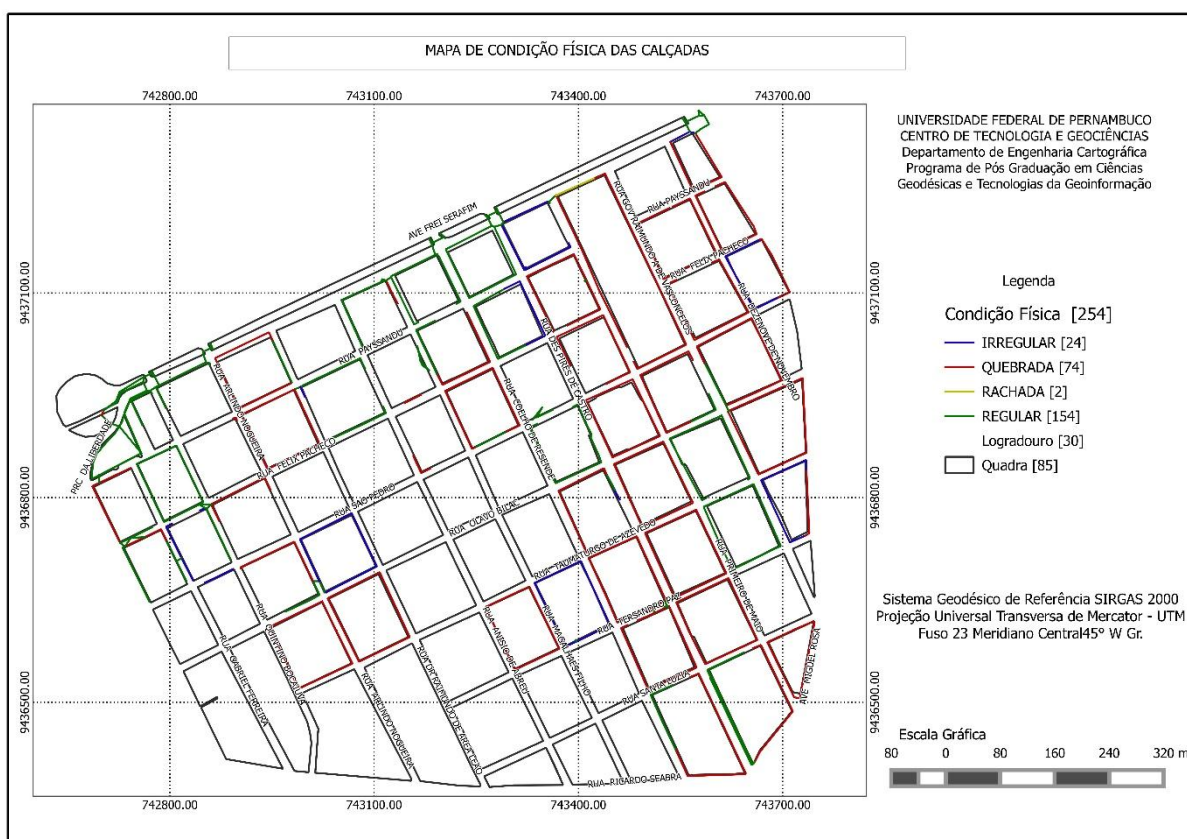


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Os tipos de materiais encontrados nas calçadas são: asfalto, cimento, bloco intertravado e pedra portuguesa. Os tipos de piso bloco intertravado e pedra portuguesa não são adequados, pois causam trepidação nas cadeiras de rodas. A NBR 9050/2004 indica que, os pisos da área de circulação, como calçadas, tenham superfície regular, firme, estável e antiderrapante sob qualquer condição, e que não provoquem trepidação em dispositivos com rodas (cadeiras de rodas ou carrinhos de bebê).

Quanto as condições físicas das calçadas foram detectadas outras irregularidades, há trechos quebrados, irregulares e rachados. Mesmo assim, a maioria (154) encontra-se regular, como indica a Figura 35.

Figura 35 – Mapa Temático por Condição Física das Calçadas



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A largura das calçadas no polo de saúde é outro fator que impede o deslocamento. Na Figura 36 observa-se que 157 segmentos possuem a largura mínima recomendada, de 1,20m, para passagem de uma cadeira de rodas, além de trechos com obstáculos físicos.

Devido a presença de obstáculos ao longo das calçadas a melhor forma de avaliar a largura foi mensurar a menor distância entre a edificação e o obstáculo em cada segmento de calçada.

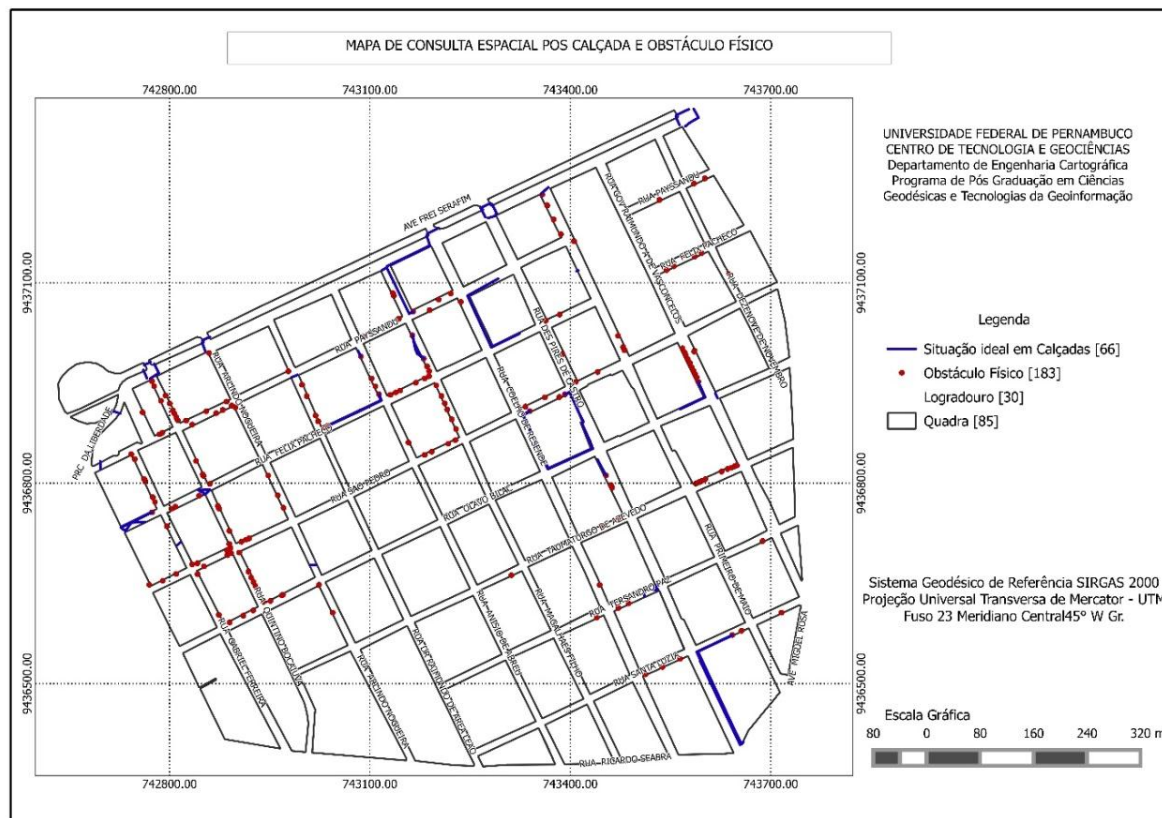
Figura 36 – Localização dos segmentos de Calçada conforme NBR 9050/2004



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Pelo padrão construtivo estabelecido pela NBR 9050/2004 foram identificados os segmentos de calçadas que estão conforme a norma. A Figura 37 mostra o resultado da consulta espacial considerando a situação ideal para mobilidade plena e segura nas calçadas: largura maior ou igual que 1,20m, tipo de superfície cimento ou asfalto e condição física regular. Apenas 66 trechos de calçadas, do total de 254, estão dentro do padrão recomendado. Há trechos que mesmo dentro das condições recomendadas possuem obstáculos que não permitem a acessibilidade total.

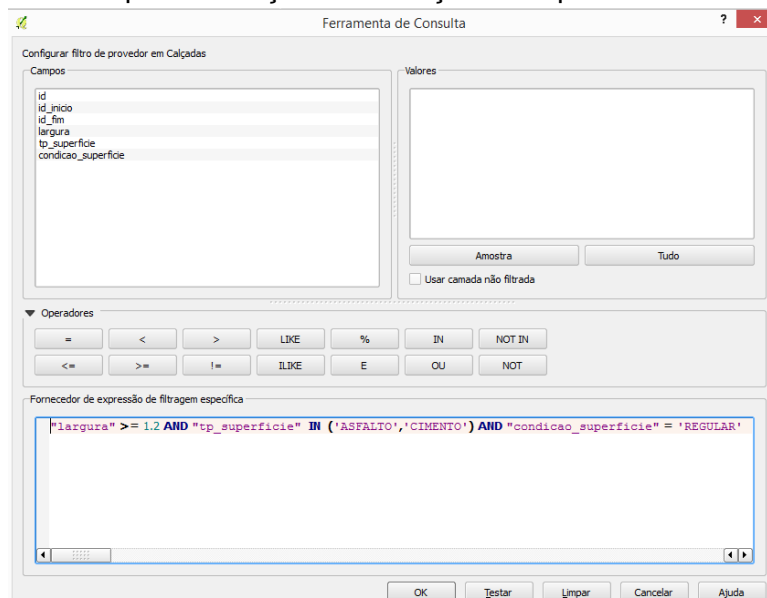
Figura 37 – Distribuição Espacial segundo situação ideal para mobilidade nas calçadas



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

O mapa da Figura 37 foi gerado através da ferramenta de consulta do QGIS utilizando o filtro apresentado na Figura 38.

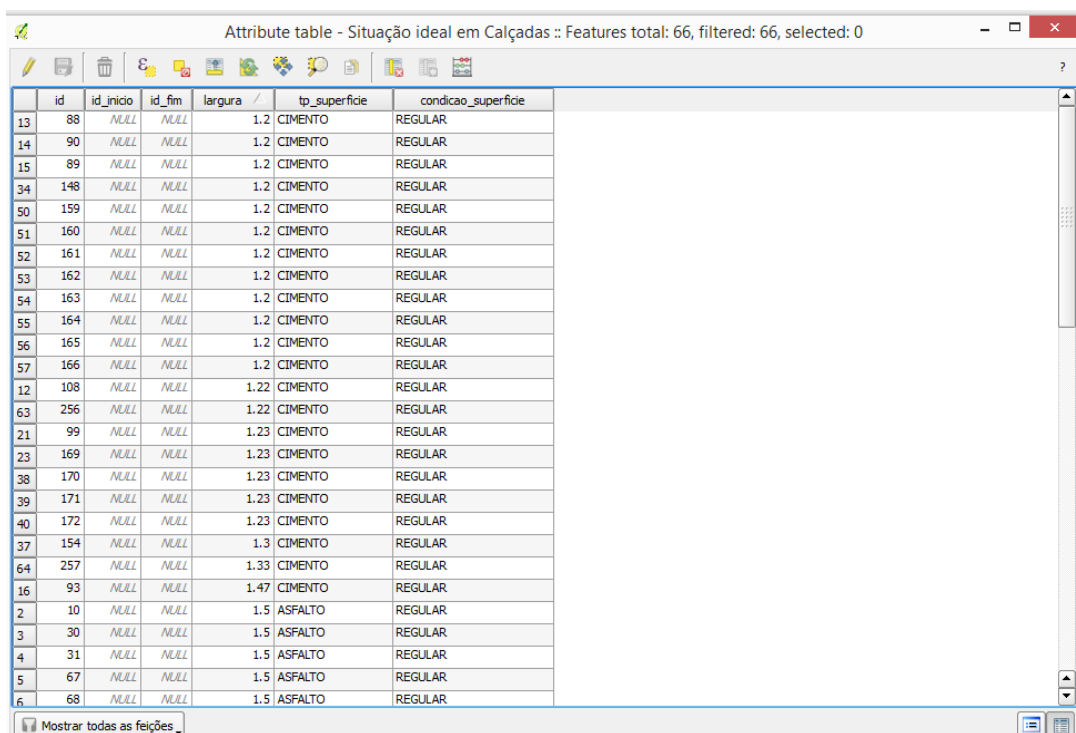
Figura 38 – Consulta para obtenção da condição ideal para mobilidade nas calçadas



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

O resultado também é expresso através da Tabela de Atributos, como mostra a Figura 39.

Figura 39 – Tabela de Atributos quanto ao piso das Calçadas



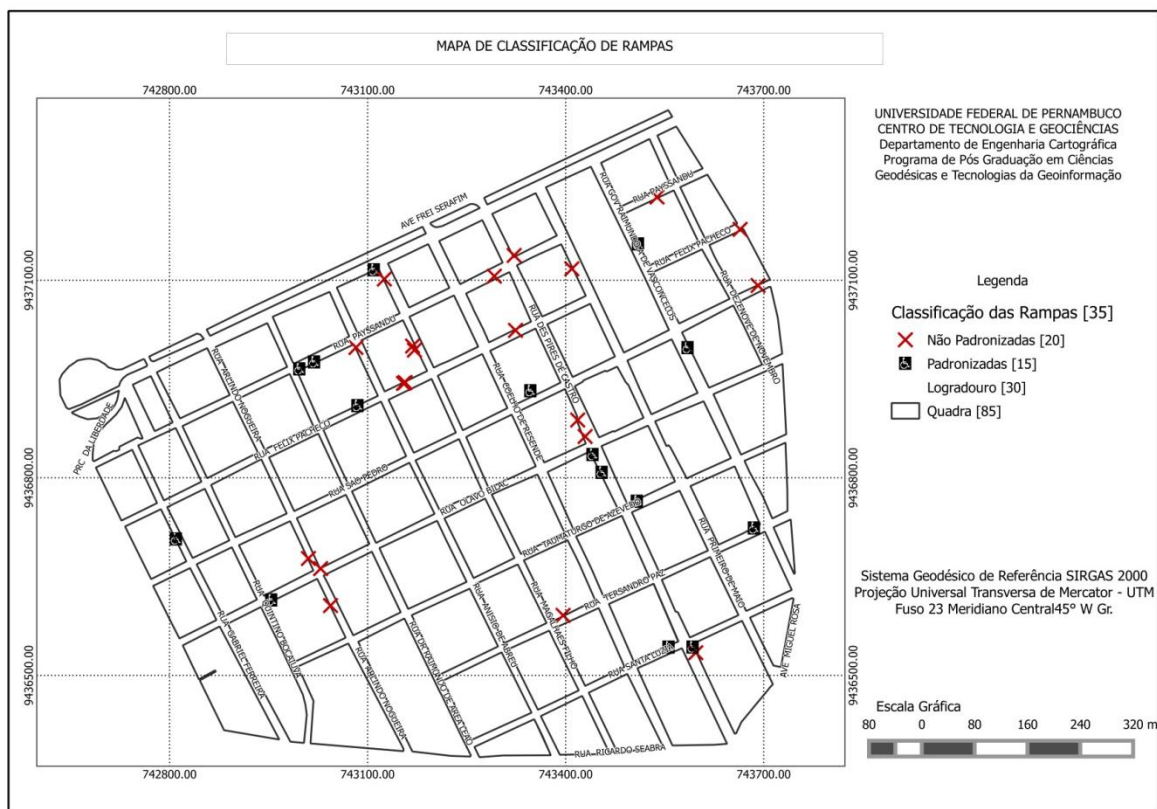
	id	id_inicio	id_fim	largura	tp_superficie	condicao_superficie
13	88	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
14	90	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
15	89	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
34	148	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
50	159	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
51	160	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
52	161	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
53	162	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
54	163	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
55	164	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
56	165	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
57	166	NULL	NULL	1.2	CIMENTO	REGULAR
12	108	NULL	NULL	1.22	CIMENTO	REGULAR
63	256	NULL	NULL	1.22	CIMENTO	REGULAR
21	99	NULL	NULL	1.23	CIMENTO	REGULAR
23	169	NULL	NULL	1.23	CIMENTO	REGULAR
38	170	NULL	NULL	1.23	CIMENTO	REGULAR
39	171	NULL	NULL	1.23	CIMENTO	REGULAR
40	172	NULL	NULL	1.23	CIMENTO	REGULAR
37	154	NULL	NULL	1.3	CIMENTO	REGULAR
64	257	NULL	NULL	1.33	CIMENTO	REGULAR
16	93	NULL	NULL	1.47	CIMENTO	REGULAR
2	10	NULL	NULL	1.5	ASFALTO	REGULAR
3	30	NULL	NULL	1.5	ASFALTO	REGULAR
4	31	NULL	NULL	1.5	ASFALTO	REGULAR
5	67	NULL	NULL	1.5	ASFALTO	REGULAR
6	68	NULL	NULL	1.5	ASFALTO	REGULAR

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Pela avaliação conjunta das características analisadas das calçadas através dos mapas temáticos, conclui-se que a falta de padronização quanto a largura, o tipo de superfície, a condição física dos segmentos e a presença de obstáculos físicos é um fator crucial de impedimento à mobilidade e a acessibilidade aos equipamentos de saúde por pessoas em cadeiras de rodas.

As rampas que dão acesso ao interior dos equipamentos de saúde, boa parte, estão em bom estado de conservação e apresentam o material adequado conforme indicado pela NBR 9050/2004. Os materiais identificados são: bloco intertravado, borracha, cerâmica antiderrapante e cimento. No total, 22 (vinte e duas) rampas apresentam o material adequado e em boas condições de acesso para circulação de pessoas em cadeiras de rodas. Apenas os materiais cerâmica antiderrapante e cimento são adequados por não causar trepidação nas cadeiras de rodas. Não foi autorizada a realização das medições em apenas 1 (um) equipamento de saúde.

Figura 40 – Classificação da Rampas de acesso aos equipamentos de Saúde



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A Figura 40 mostra o mapa temático resultante da consulta espacial por classificação de rampas, 15 (quinze) rampas apresentam a inclinação de até 8,33% como recomendado. A inclinação das rampas foi classificada como verdadeira (*true*) ou Falso (*false*) indicando se estão, ou não, padronizadas como indica a NBR 9050/2004.

A Figura 41 mostra o resultado da consulta espacial conforme os padrões construtivos da NBR 9050/2004 para as rampas, sendo: inclinação até 8,33%, tipo de superfície cimento ou cerâmica antiderrapante e condição física classificada como boa. Pelo resultado da consulta, 09 equipamentos de saúde possuem as rampas conforme o estabelecido pela norma.

Figura 41 – Mapa de Rampas conforme a NBR 9050/2004

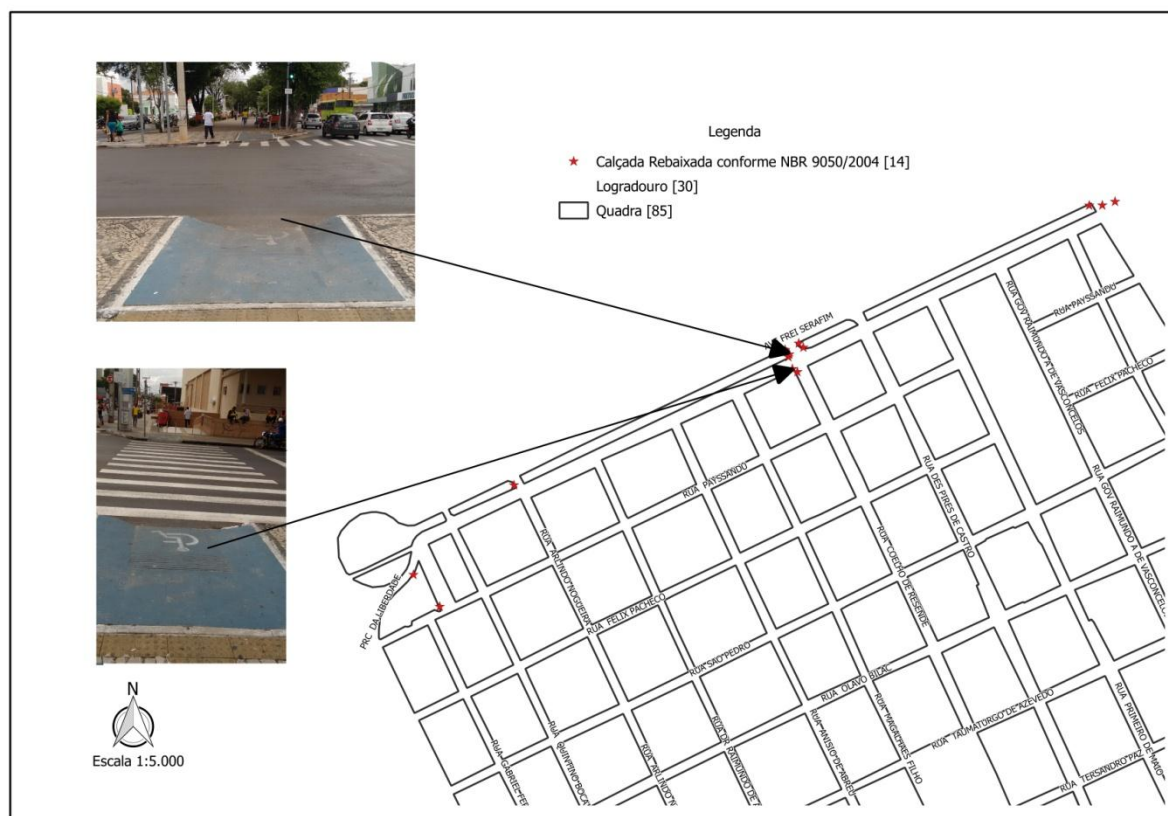


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Na análise das calçadas rebaixadas foram identificados os tipos de material cimento (117) e bloco intertravado (04). A Figura 42 mostra o resultado da consulta espacial pelo cruzamento das variáveis: inclinação até 8,33%, tipo de superfície cimento e condição física classificada como boa. Apenas 14 (quatorze) calçadas rebaixadas, do total de 121, apresentam os padrões construtivos conforme a NBR 9050/2004, a maioria está localizada ao longo da avenida Frei Serafim.

A Figura 42 ainda apresenta uma visão geral de um cruzamento em avenida indicando que as calçadas rebaixadas estão alinhadas entre si permitindo a conexão entre as calçadas e rampas.

Figura 42 – Recorte da Base Cartográfica de Calçadas Rebaixadas padronizadas

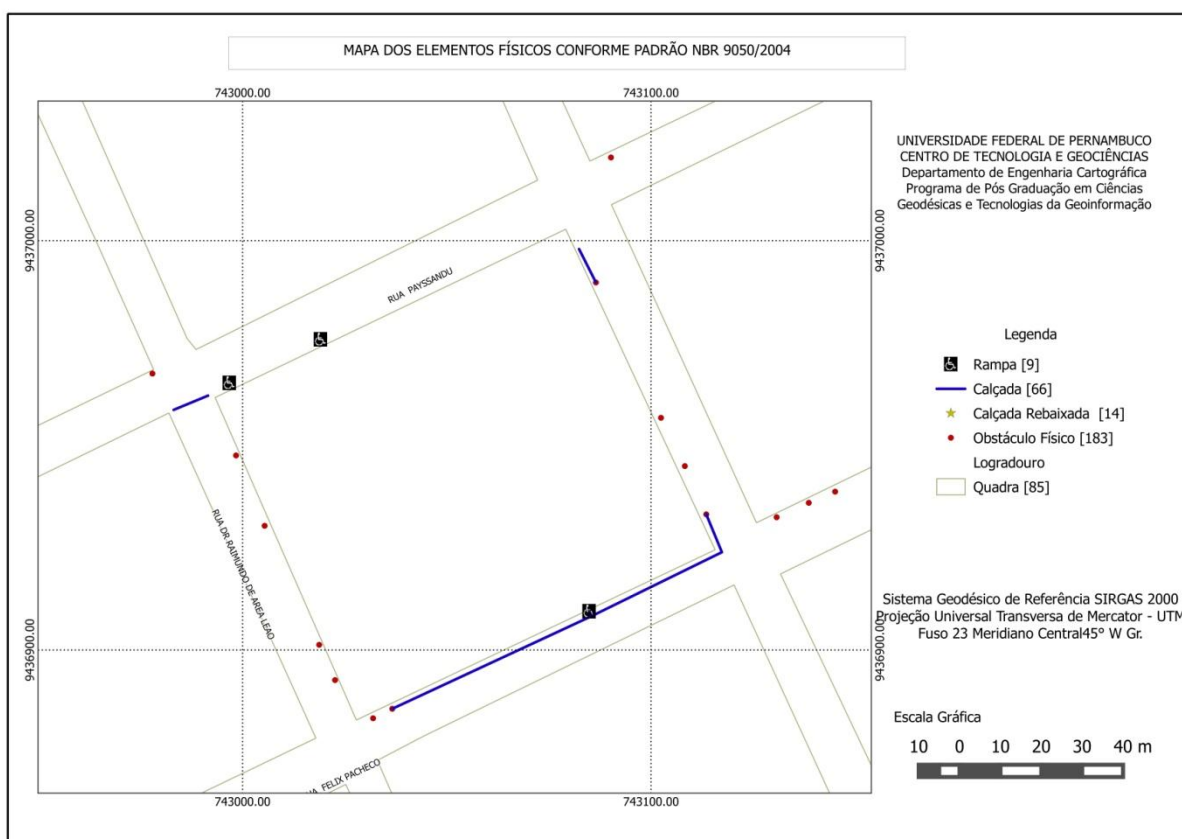


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Em algumas quadras, onde há rampas e calçadas rebaixadas padronizadas, há presença de obstáculos que impedem a circulação plena de pessoas em cadeiras de rodas e acesso entre os equipamentos de saúde, como destaca a Figura 43.

Pelo cruzamento das variáveis para acessibilidade, conclui-se que, o Polo de Saúde do município de Teresina não apresenta todos os elementos conforme os padrões estabelecidos pela NBR 9050/2004 e Lei Complementar municipal nº 4.522, de 7 de Março de 2014. A situação se agrava por ser justamente o local que oferece os serviços de saúde, mas exclui os usuários de cadeiras de rodas a terem acesso aos serviços ofertados.

Figura 43 – Mapa de Localização dos Elementos Físicos conforme NBR 9050/2004



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

3.3.2 Teste do MDE para geração de rotas

Para validar a MDE para roteamento foram realizados alguns testes de geração automática de rotas. A ferramenta de visualização destes testes foi o QGIS, e os aplicativos para a geração automática das rotas foram o *plugin* “Menor Distância” do QGIS e a extensão do PostgreSQL/PostGIS denominada pgRouting.

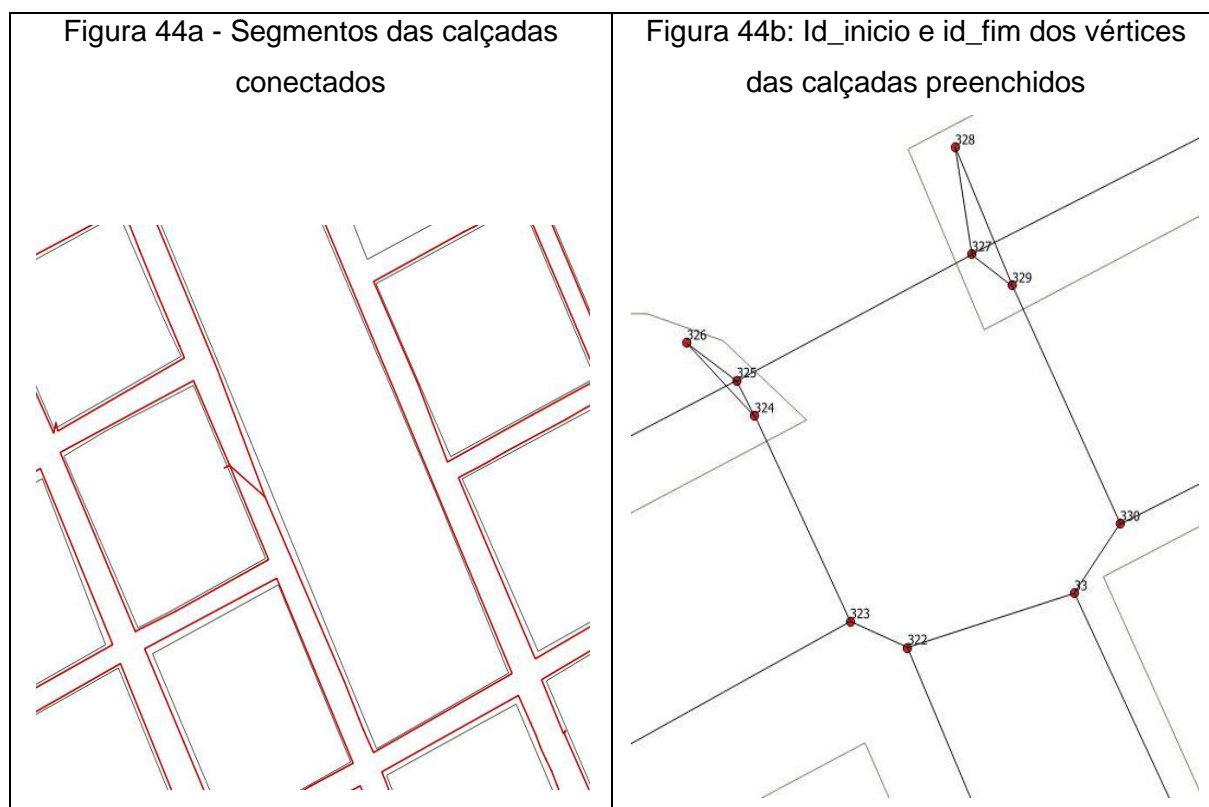
Com a extensão pgRouting foram executadas algumas simulações de rotas utilizando os algoritmos *Shortest Path Dijkstra* (pgr_Dijkstra) e o TRSP - *Turn Restriction Shortest Path*, os *scripts* utilizados para cada situação analisada estão apresentados na sessão Apêndice.

Os algoritmos do pgRouting funcionam com os conceitos de arestas e vértices utilizados em grafos, em que as arestas devem estar conectadas através de vértices formando uma rede. Na MDE as arestas são representadas pelos trechos de calçadas e os vértices pelo *no_rede*. Os trechos de calçadas devem estar conectados entre si através de um *no_rede* e, os atributos *id_inicio* e *id_fim* da tabela *CALCADA*

preenchidos com os identificadores dos no_rede, como mostram as Figuras 44 e Figura 45.

Um *script* foi criado para atualização dos atributos id_inicio e id_fim para referenciar a tabela de no_rede, apresentado no Apêndice R.

Figura 44 – Conexões dos trechos de calçadas e atributos de conexões



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Figura 45 – Tabela CALCADA com id_inicio e id_fim referenciados resultado do script

Attribute table - calçada :: Features total:

	id	id_inicio	id_fim	largura	tp_superficie	condicao_superficie
77	1	372	291	2.9	BLOCO INTERTRAVADO	REGULAR
76	2	291	289	2.9	BLOCO INTERTRAVADO	REGULAR
128	3	289	372	2.9	BLOCO INTERTRAVADO	REGULAR
116	4	372	290	1.5	ASFALTO	REGULAR
370	5	290	69	0.6	CIMENTO	QUEBRADA
114	6	69	279	0.6	CIMENTO	QUEBRADA
115	7	279	280	1.6	CIMENTO	REGULAR
339	8	280	281	1.6	CIMENTO	REGULAR
348	9	290	371	1.4	CIMENTO	QUEBRADA
67	10	279	364	1.5	ASFALTO	REGULAR
361	11	364	403	1.09	CIMENTO	REGULAR
74	12	364	273	1.5	CIMENTO	QUEBRADA
337	13	273	272	1.5	CIMENTO	QUEBRADA
5	14	271	270	1.15	BLOCO INTERTRAVADO	RACHADA
62	15	270	267	1.5	ASFALTO	REGULAR
59	16	262	261	2.25	CIMENTO	IRREGULAR
60	17	261	263	1.5	ASFALTO	REGULAR
42	18	263	227	1.5	ASFALTO	REGULAR
58	19	227	261	1.5	ASFALTO	REGULAR
330	20	262	264	2.25	CIMENTO	IRREGULAR
306	21	261	260	0.6	BLOCO INTERTRAVADO	REGULAR
333	22	267	266	0.65	BLOCO INTERTRAVADO	IRREGULAR
334	23	267	268	0.65	BLOCO INTERTRAVADO	IRREGULAR
117	24	263	302	0.6	CIMENTO	REGULAR
79	25	302	301	0.75	CIMENTO	REGULAR
61	26	301	263	0.8	CIMENTO	REGULAR

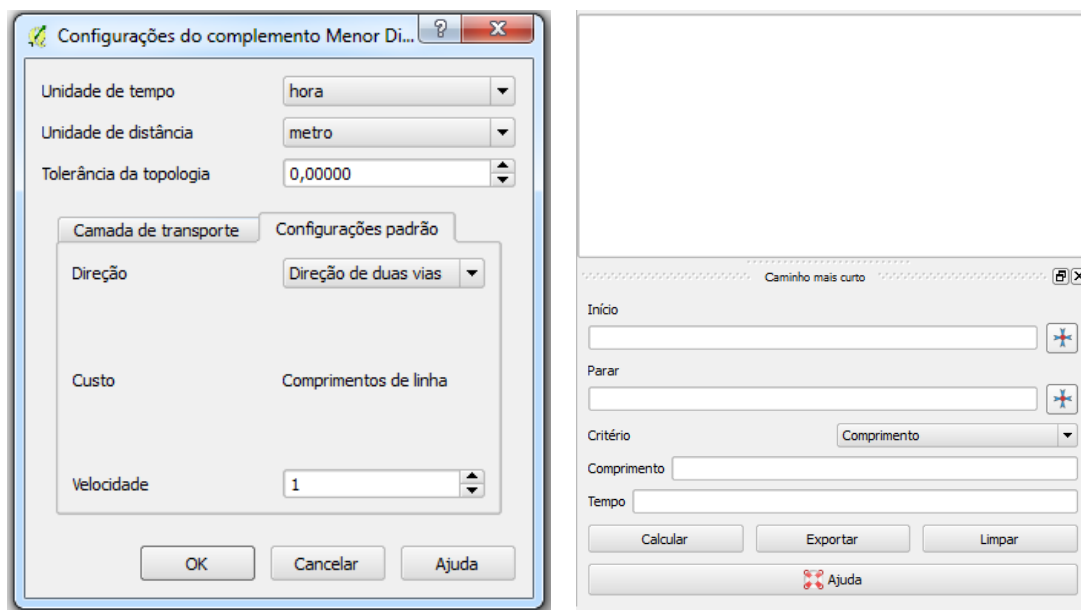
Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Para testar a MDE em simulações de rotas foram escolhidas quatro situações: uma utilizando a ferramenta Menor Distância do QGIS sem critérios para mobilidade e três com os algoritmos do *pgRouting* de acordo com a avaliação qualitativa dos elementos físicos para acessibilidade no Polo de Saúde presente no Item 3.3.2, são elas:

Teste 1: Ferramenta Menor Distância do QGIS

A ferramenta Menor Distância, apresentado na Figura 46, calcula rotas automaticamente a partir de um ponto inicial até um ponto final utilizando o comprimento do trecho da rede, a distância total e o tempo como critérios de escolha da rota. Porém, a ferramenta não permite a inserção de parâmetros necessários para calcular rota para usuário de cadeiras de rodas.

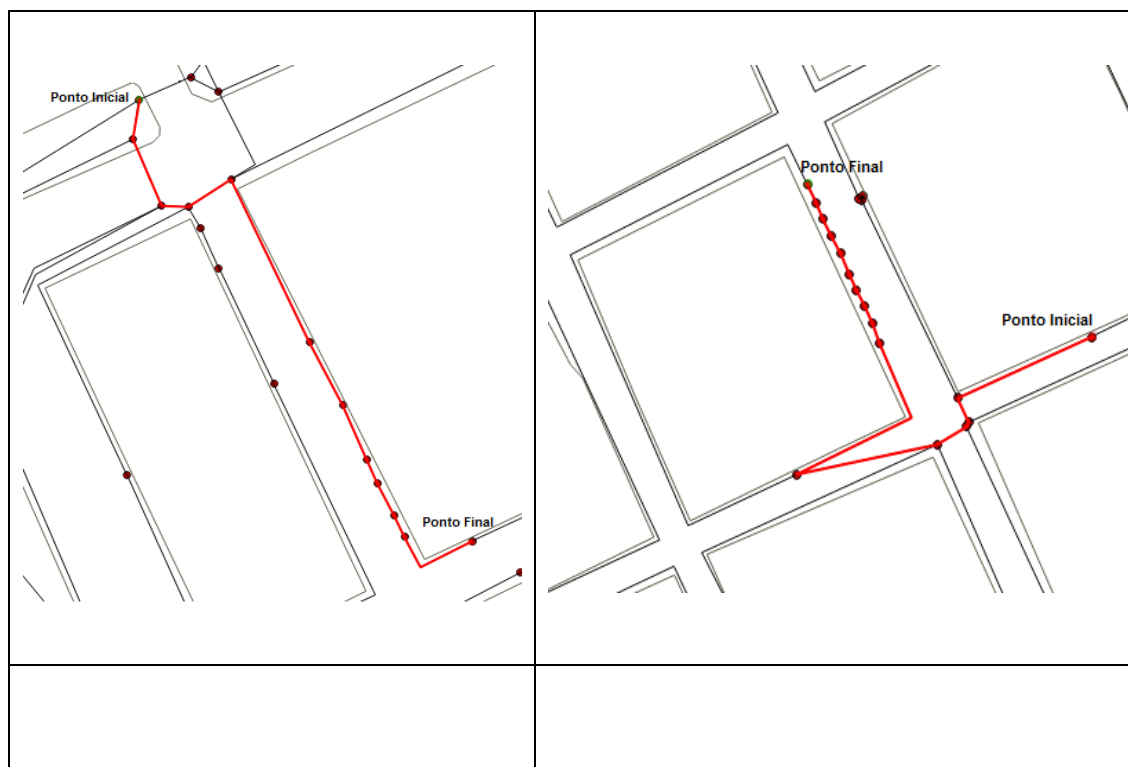
Figura 46 – Ferramenta Menor Distância do QGIS

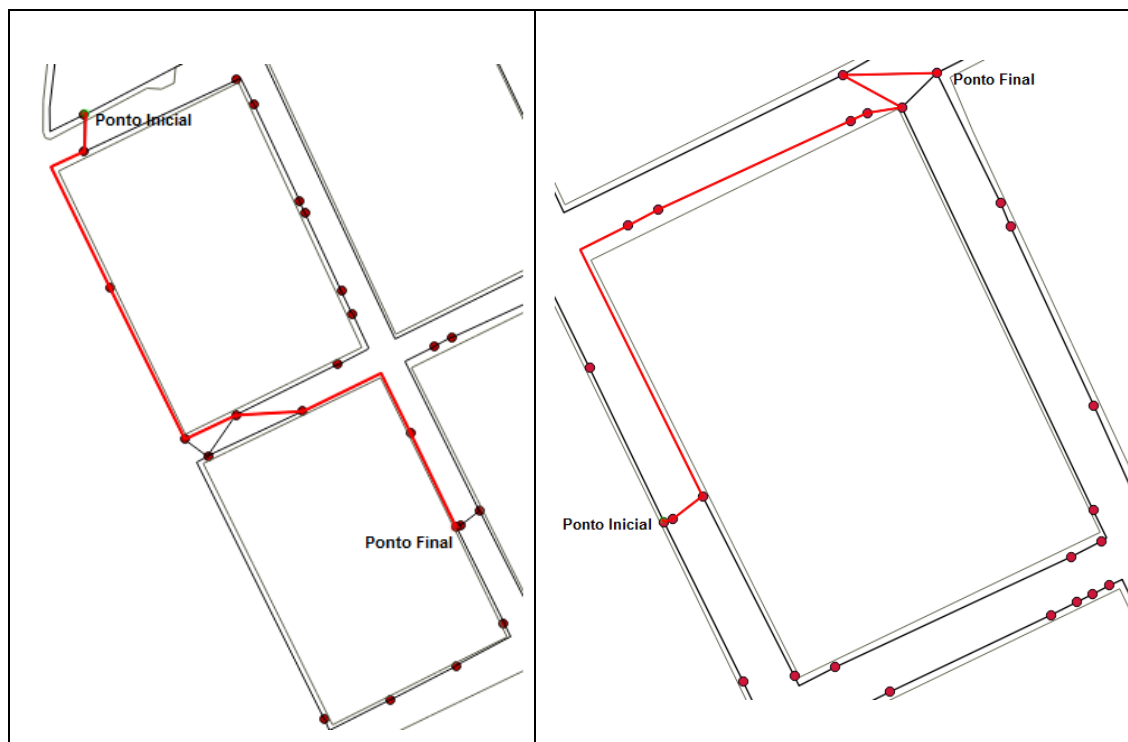


Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

A Figura 47 apresenta algumas rotas testadas pela ferramenta. O resultado mostra que a MDE está adaptada para ferramentas de roteamento disponibilizadas por programas para SIG, como o QGIS.

Figura 47 – Teste de rotas com ferramenta do QGIS





Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Teste 2: Rotas sem critérios para mobilidade em calçadas com o pgRouting

Neste teste é utilizado o algoritmo *Shortest Path Dijkstra* (pgr_Dijkstra) do *pgRouting* para simular rotas sem restrição de mobilidade em calçadas quanto a largura, o comprimento, a existência de obstáculos e o tipo de material do piso. O objetivo é avaliar a MDE e a funcionalidade do algoritmo.

Para produzir uma rota acessível o *Shortest Path Dijkstra* requer ponto de início, ponto final da viagem, função de custo e direção do trajeto. A consulta SQL é composta por cinco parâmetros, são eles:

```
SELECT id, source, target, cost [,reverse_cost] FROM edge_table
```

Onde:

id: identificador do segmento

source: id do nó inicial

target: id do nó final

cost – indica o custo para percorrer do início ao fim do trecho, que pode ser em função de um atributo ou combinação de atributos

reverse cost: custo para o percurso inverso, quando a rede necessita de direção

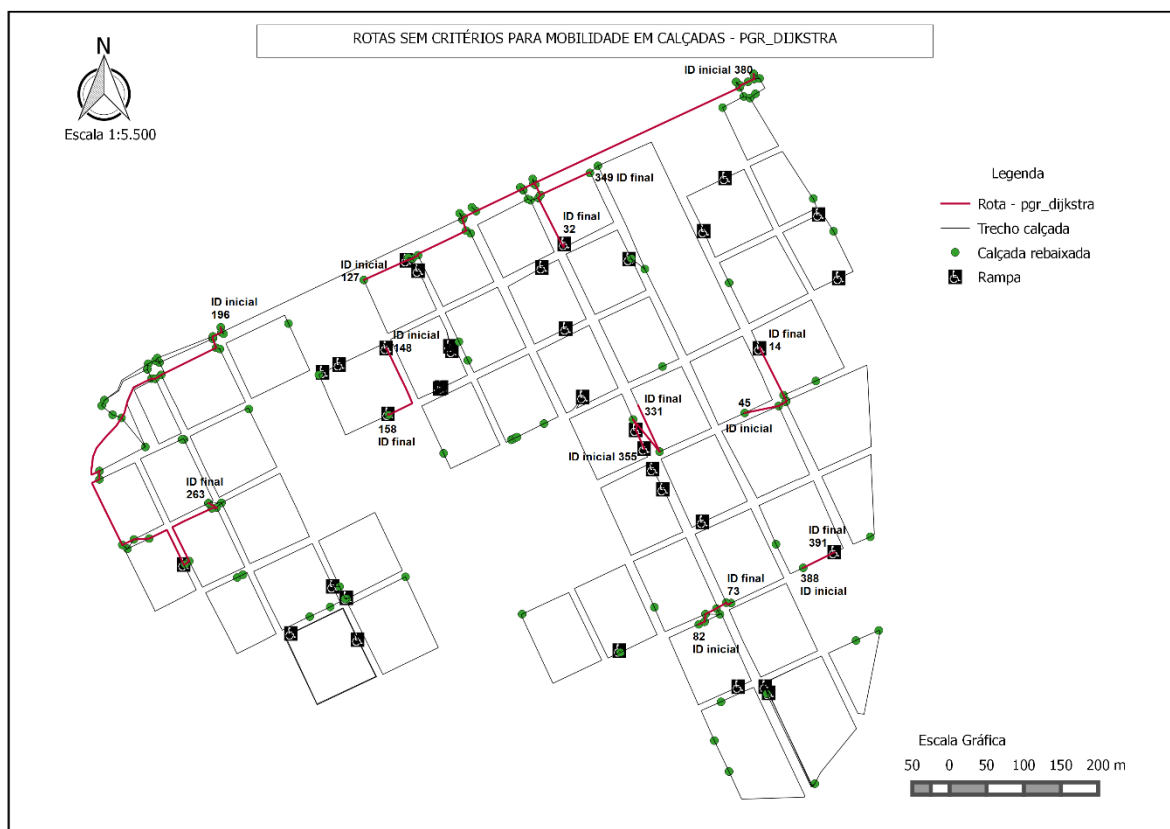
No caso da pesquisa, a rede não é direcionada uma vez que a mobilidade em cadeiras de rotas em calçadas se dá nas duas direções.

Para a pesquisa, o algoritmo *pgr_dijkstra* é mais adequado que a ferramenta Menor Distância do QGIS, pois possui parâmetros direcionados para mobilidade de pessoas em cadeiras de rodas, como a direção e o esforço (custo) para percorrer um determinado trajeto.

Como resposta, o algoritmo *pgr_dijkstra* retorna uma tabela com quatro colunas em forma de caminho: *seq* (indica a sequência do caminho), *id1* (indica o ID do nó), *id2* (indica o ID do segmento a ser percorrido) e *cost* (custo para percorrer o segmento). O *id2* fornece o identificador dos segmentos de calçadas que serão utilizados no caminho (vértice de origem e vértice de destino), coluna de interesse da pesquisa. A seguir são apresentadas algumas rotas através de *scripts* utilizando IDs dos nós de calçadas da MDE:

```
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 127, 349, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 196, 263, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 45, 14, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 82, 73, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 355, 331, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 380, 32, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 148, 158, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 388, 391, 'f', 'f'))
```

A ferramenta filtrar no *layer* CALÇADA, presente no QGIS, foi usado para inserir os *scripts* do *pgr_dijkstra* e obter rotas de forma automática. O resultado é apresentado na Figura 48.

Figura 48 – Rotas para mobilidade em calçadas com algoritmo *pgr_dijkstra*

Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

O algoritmo *pgr_dijkstra* traçou caminhos utilizando os dados da MDE através de *scripts* e apresentou a distribuição espacial das rotas. O resultado mostra que a MDE está adaptada para ferramentas de roteamento do *pgRouting*. O *pgr_dijkstra* apresentou rotas que dão acesso entre equipamentos de saúde presentes na mesma quadra e traçou caminhos entre calçadas rebaixadas. Há poucas opções de rotas para acesso aos equipamentos de saúde entre as quadras pela falta de calçadas rebaixadas que permitem a conexão entre elas, o que caracteriza a dificuldade de mobilidade e fluidez na região.

Teste 3: Rotas com critérios para mobilidade em calçadas com o *pgRouting*

O teste a seguir apresenta rotas conforme a condição ideal para mobilidade nas calçadas recomendada pela ABNT 9050/2004 para pessoas em cadeiras de rodas.

Para produzir rotas que atendam às exigências da ABNT 9050/2004 foi incluída na expressão do algoritmo *pgr_dijkstra* custos que representam o padrão construtivo

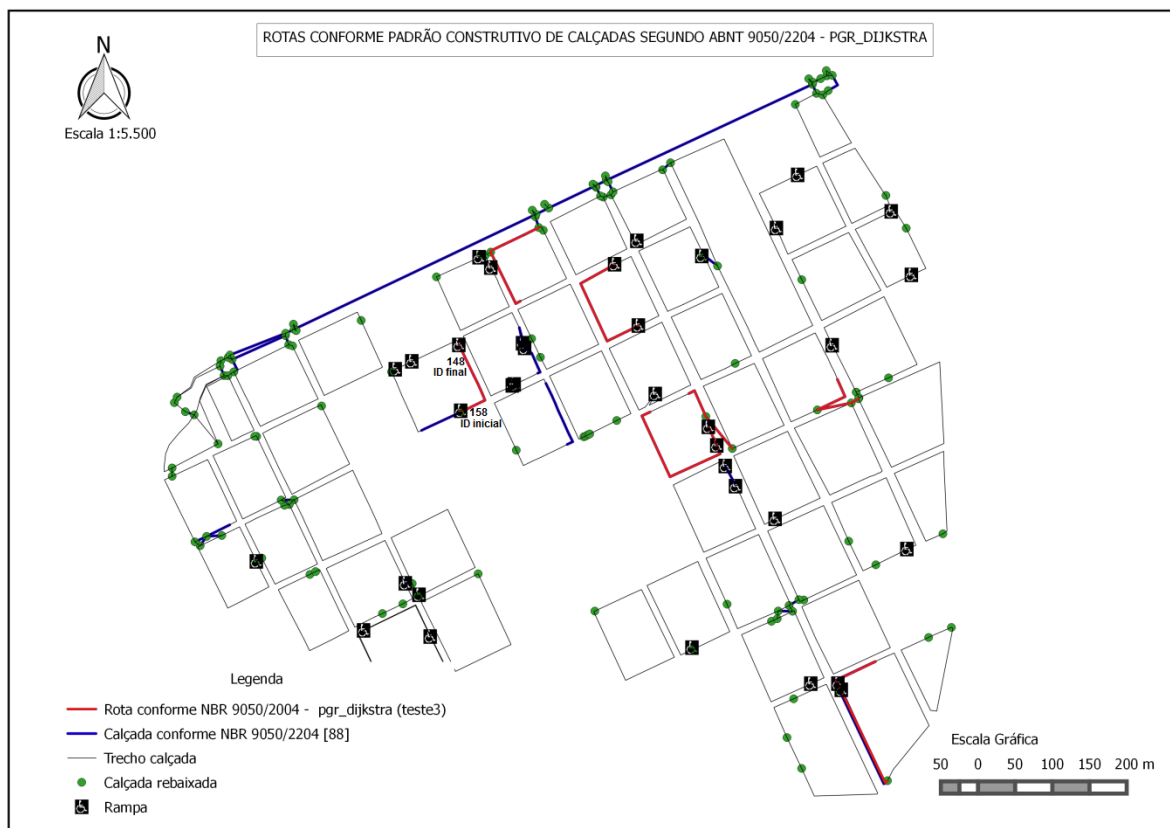
para mobilidade em calçadas, são eles: situação da superfície de calçada, tipo de material e largura.

A função utilizada considera os seguintes critérios (custos) recomendados pela norma: largura maior ou igual que 1.20m, tipo de superfície cimento ou asfalto, condição física regular. Os filtros com os *scripts* são mostrados a seguir:

```
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 158, 148, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 105, 354, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 108, 374, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 66, 63, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 397, 103, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 44, 395, 'f', 'f')) OR
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada WHERE largura >= 1.2 AND tp_superficie =
"CIMENTO" and condicao_superficie = "REGULAR" ', 360, 117, 'f', 'f'))
```

A Figura 49 mostra o resultado dos testes através da distribuição espacial das rotas no QGIS. O algoritmo traçou caminhos conforme o recomendado pela ABNT 9050/2004. Há poucas rotas acessíveis no Polo de Saúde, a maioria dos trechos de calçadas estão fora do padrão, justamente as que contêm os equipamentos de saúde. As quadras que não possuem calçadas rebaixadas e equipamentos de saúde não geram rotas, caracterizando a inacessibilidade e a falta de fluidez durante o deslocamento de pessoas em cadeiras de rodas na área.

Figura 49 – Rotas para mobilidade de pessoas em cadeiras de rodas segundo ABNT 9050/2004



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Teste 4: Rotas com restrição de obstáculos físicos

O último teste apresenta rotas com presença de obstáculos físicos, situação real de mobilidade no Polo de Saúde. Os obstáculos físicos, como postes, placas e árvores, já apresentados no item 3.3.1 da pesquisa, constituem barreiras por serem intransponíveis durante o deslocamento de pessoas em cadeiras de rodas nas calçadas.

Para análise das rotas com obstáculos físicos foi utilizado o algoritmo TRSP - *Turn Restriction Shortest Path*. O algoritmo TRSP é utilizado para encontrar o caminho de menor custo com suporte para restrições nas conexões entre trechos da rede. O algoritmo utiliza no cálculo do caminho de menor custo, além dos custos de cada trecho da rede, custos adicionais em algumas conexões entre trechos especificados pelo usuário. Para especificar os custos adicionais em algumas conexões é necessário a criação de uma tabela auxiliar denominada *restrictions* onde ficam

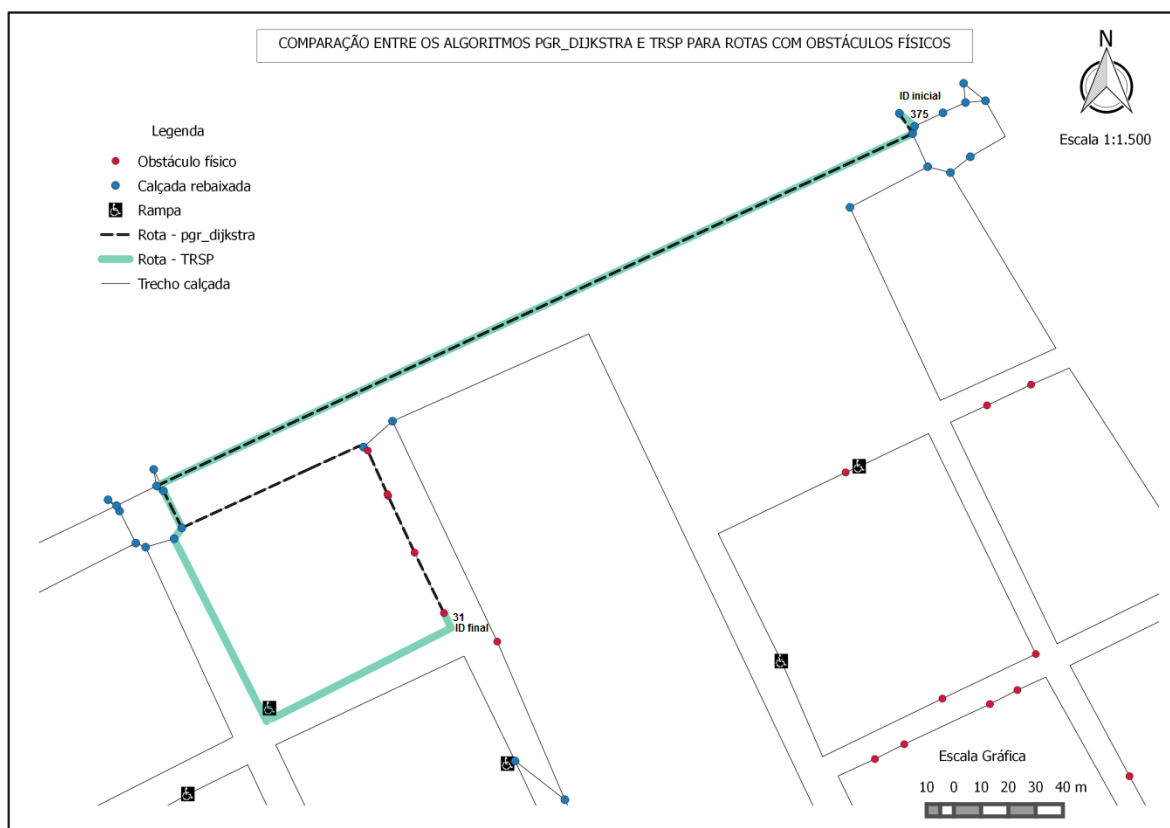
armazenados os identificadores de cada trecho de calçada conectado por uma obstáculo físico e um peso para transpor essa conexão. Nesse teste atribuímos o valor de 100000 para cada conexão de trecho de calçada com um no_rede do tipo obstáculo físico.

A desvantagem do algoritmo é que não trata os nós do tipo obstáculo físico como barreiras, ou seja, não impede a passagem. Mas permite atribuir um peso que recalcula a rota para outra rota com menor custo.

A seguir são apresentados *scripts* utilizando os algoritmos *pgr_Dijkstra* e TRSP para um mesmo caminho com obstáculo físico e o resultado gráfico das rotas é apresentado na Figura 50:

```
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_trsp( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as target,
cost FROM calcada', 375, 31, false, false, 'SELECT to_cost, to_edge AS target_id,
from_edge || coalesce(", " || via, "") AS via_path FROM restrictions'))
"id" IN (SELECT id2 FROM pgr_dijkstra( 'SELECT id, id_inicio as source, id_fim as
target, cost, reverse_cost FROM calcada', 375, 31, 'f', 'f'))
```

Figura 50 – Rotas com presença de obstáculos físicos



Fonte: Elaborada pela Autora (2016)

Pela análise comparativa entre os algoritmos *pgr_Dijkstra* e TRSP, observa-se que a rota gerada pelo algoritmo TRSP traçou o caminho sem obstáculo físico, considerou o menor custo e não necessariamente o menor caminho como o *pgr_Dijkstra*. A geração de rotas com restrição usando o algoritmo TRSP é mais recomendado para pessoas em cadeiras de rodas pois representa melhor a realidade no deslocamento desse público e auxilia na escolha da melhor rota.

Os espaços urbanos do Polo de Saúde de Teresina, até a data desta pesquisa, não atendem as demandas de acessibilidade da população, em especial, as pessoas em cadeiras de rodas. A maioria das calçadas dos imóveis não estão adaptadas aos padrões e prazos estabelecidos na Lei Complementar municipal nº 4.522, de 7 de Março de 2014. As iniciativas são limitadas a execução de projetos pontuais e emergenciais, insuficientes para promover a locomoção e mobilidade plena para as pessoas em cadeiras de rodas pelos espaços públicos.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os espaços públicos urbanos devem fornecer as condições necessárias e previstas nas legislações vigentes para proporcionar uma locomoção plena, segura e de forma autônoma para todo cidadão. A falta de acessibilidade e mobilidade principalmente para pessoas com deficiência impossibilitam o direito de ir e vir, como também, obrigam essa parte da população a ter uma acessibilidade assistida, ou seja, com a ajuda de terceiros.

A pesquisa alcançou os objetivos propostos através da Modelagem de Dados Espaciais que permitiu analisar os elementos físicos urbanos para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas, em conformidade com os princípios do Desenho Universal, da norma brasileira da ABNT 9050/2004 e da legislação municipal nº 4.522, de 7 de Março de 2014. A base de dados espaciais contém as informações necessárias dos componentes físicos do espaço urbano para acessibilidade, e os testes do MDE com rotas e mapas forneceram a espacialização da situação real da mobilidade de pessoas em cadeiras de rodas no Polo de Saúde de Teresina.

A pesquisa provou que a MDE, o SIG e os SGBD são ferramentas tecnológicas para mapeamento da acessibilidade para pessoas com deficiências no espaço urbano.

Metodologia OMT-G

A modelagem proposta apresentou os principais elementos físicos que promovem a acessibilidade e a mobilidade e, as características físicas de calçadas, rampas, calçadas rebaixadas, paradas de transporte público e obstáculos físicos e as relações espaciais, com subsídio nos conceitos das Tecnologias da Geoinformação como o Sistema de Informações Geográficas e a Cartografia.

A metodologia OMT-G foi eficaz na Modelagem dos Dados Espaciais para acessibilidade. A criação da modelagem seguindo os níveis de abstração facilitou na organização do processo de criação desde a escolha dos objetos do espaço urbano, na fase de abstração do Mundo Real, até a fase implementação do MDE no SIG. O modelo OMT-G representou os objetos do espaço urbano para acessibilidade em dados geográficos e alfanuméricos e foi adequado ao proposto na pesquisa.

A notação do modelo OMT-G foi adequada para a representação das classes, dos atributos, dos relacionamentos espaciais e do processo de Especialização de fácil visualização e compreensão da Modelagem dos Dados Espaciais para acessibilidade.

Base de Dados Espaciais

A pesquisa forneceu uma base de dados espaciais contendo as informações dos elementos físicos analisados do polo de saúde, na região central do município de Teresina, estado do Piauí, para teste do modelo e geração de rotas. Como também, possibilitou a análise qualitativa dos elementos para acesso aos equipamentos de saúde da área de estudo.

Sistema Gerenciador de Banco de Dados e extensão espacial para rotas - Pgrouting

O SGBD espacial PostgreSQL/PostGIS demonstrou robustez na realização final da modelagem, capaz de criar e gerenciar a base de dados espacial. As tabelas espaciais permitiram armazenar as geometrias, atributos e restrições espaciais das classes da modelagem através dos algoritmos para dados espaciais.

A extensão espacial para roteamento do PostGIS - *pgrouting* apresentou algoritmos consistentes com funcionalidades para roteamento. Os algoritmos *pgr_dijkstra* e *TRSP* alcançaram o objetivo proposto, geraram rotas com e sem restrição de mobilidade para pessoas em cadeiras.

Software para SIG - Quantum GIS

O QGIS permitiu a visualização gráfica das tabelas espaciais em camadas e da base de dados espacial para acessibilidade, além de gerar mapas dos principais problemas de acessibilidade e mobilidade no polo de saúde do município de Teresina.

As ferramentas de consultas espaciais utilizadas no cruzamento entre as camadas permitiram a geração de mapas temáticos no suporte a melhorias urbanísticas adequando os espaços públicos para circulação de pessoas em cadeiras de rodas.

O QGIS apresentou limitações em termos de simbologia para representação das classes RAMPA, CALC_REBAIXADA e OBS_FISICOS. As simbologias dessas classes não estão presentes na biblioteca de símbolos do programa. Pela escassez de símbolos houve dúvidas no momento da escolha, o símbolo do Desenho Universal foi convertido em formato SVG e utilizado na pesquisa.

Mapas Temáticos

Os mapas temáticos ofereceram uma visão integrada dos elementos físicos do espaço urbano para acessibilidade de pessoas em cadeiras de rodas e alcançou o propósito da pesquisa.

Os resultados dos mapas temáticos revelaram que a acessibilidade e mobilidade no polo de saúde no município de Teresina estão comprometidas pela soma de vários fatores de impedância: presença de obstáculos físicos e atitudinais, diferenças de inclinação ao longo das calçadas, material construtivo inadequado e más condições físicas das calçadas.

Gestão Pública Municipal para Acessibilidade

A inexistência de base de dados espaciais contendo informações sobre o cenário da acessibilidade no município de Teresina limitou conhecer as características e problemas de locomoção e acesso aos serviços públicos na cidade. As pesquisas locais acerca da temática estão restritas a um exemplar de pesquisadores da Universidade Federal do Piauí.

Revisão de Literatura

A análise da literatura científica constatou a escassez de pesquisas brasileiras voltadas para o mapeamento dos elementos físicos do espaço urbano para acessibilidade e mobilidade de pessoas com deficiência. A maior parte das pesquisas encontradas forneceram as variáveis para a definição das classes e atributos, mas

não informaram como as variáveis se relacionam através de uma modelagem de dados espaciais.

As pesquisas internacionais revelaram mais avanços no uso de modelos de dados espaciais e roteamento e forneceram subsídios para a criação da Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade fornecida nessa pesquisa.

Pesquisas Futuras

A análise da acessibilidade e mobilidade com uso das Tecnologias da Geoinformação deve ser estendida para os demais tipos de deficiências e serviços públicos, como educação, comércio, lazer, serviços jurídicos.

Na avaliação qualitativa dos elementos físicos para acessibilidade é necessário incluir as informações das inclinações transversal e longitudinal ao longo das calçadas e, assim, seguir de forma plena os princípios do Desenho Universal conforme a norma brasileira da ABNT 9050/2004.

O pgrouting não apresentou algoritmos que impeçam ultrapassar obstáculos. Recomenda-se a criação de algoritmos para roteamento que tratam os nós do tipo obstáculo físico como barreira, mais adequados para a realidade de mobilidade de pessoas com deficiências.

Com o objetivo de disseminar os dados geoespaciais gerados na pesquisa, a nível nacional, sugere-se a inclusão da Modelagem de Dados Espaciais para Acessibilidade nas Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais da CONCAR e contidas na INDE.

Recomenda-se a criação de aplicativos para sistema de navegação com rotas utilizando os dados da base de dados espaciais desta pesquisa.

Ao poder público municipal de Teresina indica-se um estudo completo sobre acessibilidade e mobilidade de pessoas com deficiências com o uso das Tecnologias da Geoinformação, e a integração dos dados na base de dados espaciais existente na prefeitura.

Às Instituições de Ensino, aos Órgãos Públicos e Privados, aos Conselhos Regionais, às Organizações e à sociedade civil recomenda-se parcerias para realizações de projetos voltados à promoção da acessibilidade e mobilidade de pessoas com deficiências aos serviços públicos no espaço urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050:** acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificações, espaço, mobiliário e equipamento urbano. Rio de Janeiro, 1994.

AGENDA 2015 – Congresso da Cidade. **A cidade que queremos: diagnósticos e cenários (Polo Saúde)**. Prefeitura Municipal de Teresina, p. 1-22, 2008. Disponível em:< <http://www.teresina.pi.gov.br/portalt/pmt/orgao/SEMPPLAN/doc/20080924-160-600-D.pdf> >. Acesso em: 19.jan.2016.

AGUIAR, F. de O. **Acessibilidade relativa dos espaços urbanos para pedestres com restrição de mobilidade**. 2010. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2010.

ARAÚJO, F. S. **Modelagem de processos automatizados para controle de consistência lógica em banco de dados geográficos: uma aplicação para o Cadastro Territorial Multifinalitário do Distrito Federal**. 2015. 140f. Dissertação. (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BEALE, L.; FIELD, K.; BRIGGS, D.; PICTON, P.; MATTHEWS H.. **Mapping for wheelchair users: route navigation in urban spaces**. In: The Cartographic journal, v. 43, n.1, p 68-81. The British Cartographic Society, 2006. Disponível em:< <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/000870406X93517>>. Acesso em: 18.nov.2015

BÉDARD, Y; CARON, C.; MAAMAR, Z.; MOULIN, B.. **Adapting data models for the design of spatio-temporal databases**. In: Computers, Environment, and Urban Systems, v.20, n.1, p.19-41, Quebec city: Laval University, 1996. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971596000087> >. Acesso em: 02.fev.2016.

BORGES, K.A.V; DAVIS, C.; LAERDER, H.F. **Modelagem conceitual de dados geográficos**. In: Bancos de Dados Geográficos. São José dos Campos: DPI/INPE, 2005. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap3.pdf> >. Acesso em: 21 mai. 2015.

BORGES, K.A.V; DAVIS, C. **Modelagem de dados geográficos**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: DPI/INPE, 2005. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap4-modelos.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JR., C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: an object-oriented data model for geographic applications. **Geoinformatica**, v.5, n.3, p. 221-260, 2001. Disponível em:<<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1011482030093#page-1> >. Acesso em 12 fev. 2016.

BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F.; e DAVIS Jr, C. D. Spatial data integrity constraints in object oriented geographic data modeling. In **Proceedings of ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems**, Kansas City, 1999.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide**. 6th printing. Addison-Wesley objecttechnology series, 2000.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 1988.

CAMARA, G. ; QUEIROZ, G. R. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação (Org). São José dos Campos: DPI/INPE, 2004. Disponível em:<www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em: 16 mai.2015.

CAMARA, G.. **Representação computacional de dados geográficos**. In: Casanova, M. A.; Câmara, G.; Davis Jr., C. A.; Vinhas, L.; Queiroz, G. R. (Eds.) Bancos de dados geográficos, São José dos Campos: DPI/INPE, 2005.p. 11–52. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap1.pdf>>. Acesso em: 16 mai.2015

CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Conceitos básicos em ciência da geoinformação**.In: Introdução à Ciência da Geoinformação (Org). São José dos Campos: DPI/INPE, 2004. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acessoem:19 mai. 2015.

CAMPELO, A. G. M. **Plano de mobilidade urbana para o centro de teresina**. 2015. 158p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

CHEN, D; SHAMS, S.; MORENO, C.C.; LEONE, A.. Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries. **Journal of Hydro-environment Research**. Liverpool – UK,v.4,n.3, p. 253–264, 2010. Disponível em:<

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570644310000511>>. Acesso em: 25.fev.2016.

CONCAR – Comissão Nacional de cartografia. **Especificações técnicas para estruturação de dados geoespaciais digitais vetoriais**. Norma Cartográfica Brasileira 0001/2007. Disponível em: <
<http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2>>. Acesso em: 01.fev.2016.

CREA - CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA. **Guia de acessibilidade urbana**. Belo Horizonte: CREA-MG, 2006. 96p.

CRUZ, C.B.M. **As bases operacionais para a modelagem e implementação de um banco de dados geográficos em apoio à gestão ambiental: um exemplo aplicado à bacia de Campos, RJ**. 2000. 394f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

DING, D.; PARMANTO, B.; KaARIMI, H. A.; ROONGPIBOONSOPIT, D.; PRANAMA, G.; CONAHAN, T.. **Design Considerations for a Personalized Wheelchair Navigation System**. In: Proc. of the Annual International Conference of the IEEE on Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2007), IEEE Press, New York, p.4790-4793, 2007. Disponível em:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4353411>. Acesso em 05.fev.2016.

ELMASRI, R. ; NAVATHE, S. B.. **Fundamentals of database systems**. 6nd Edition. Addison-Wesley, 2010. 1201p.
HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. **An extended entity-relationship model for geographic applications**. SIGMOD Record, v.26, n.3, 1997. Disponível em:<
http://delivery.acm.org/10.1145/270000/262766/P024.pdf?ip=200.137.171.190&id=262766&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=344E943C9DC262BB%2ECD7930980725E0DE%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&CFID=750000930&CFTOKEN=69604687&__acm__=1454500008_ba7961bd787a9ec202669ebf6d8e8c69>. Acesso em: 01.fev.2016

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEORAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 04.abr.2015.

_____. **Dia Internacional das Pessoas com Deficiência.** Disponível em:<<http://7a12.ibge.gov.br/voce-sabia/calendario-7a12/event/57-dia-internacional-das-pessoas-com-deficiencia>>. Acesso em 03.nov.2014.

_____. **Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA).** Censo Demográfico 2010. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=cd&o=13&i=P&c=3425>>. Acesso em 17.mai.2015

KASEMSUPPAKORN, P.; KARIMI, H. A.. **Data requirements and spatial database for personalized wheelchair navigation.** In Proceedings of the Second International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology, p. 31-34, Bangkok, Thailand, 2008.

KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; SIX, H. **GIS-Application Development with GeoOOA.** In International Journal of Geographical Information Science, v.11, n.4, 1997. Disponível em:< <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/136588197242293>>. Acesso em: 03.fev.2016.

LEITE, N. B. F. **Expansão urbana e seus efeitos sobre a mobilidade e acessibilidade avaliada com o auxílio dos sistemas de informação geográfica (SIG) em Teresina-PI.**2013162f. Tese (Doutorado em Geografia Urbana) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2013.

LISBOA FILHO, J. **Modelos Conceituais de Dados para Sistemas de Informações Geográficas.** 1997. 119p. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) - Instituto de Informática, Porto Alegre, 1997.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. **Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework.** In Proceedings of ACMGIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems, p.7-13, Kansas city, 1999. Disponível em:< http://delivery.acm.org/10.1145/330000/320139/p7-filho.pdf?ip=200.137.171.190&id=320139&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=344E943C9DC262BB%2ECD7930980725E0DE%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&CFID=750000930&CFTOKEN=69604687&__acm__=1454500192_d6beb763710e764a3385b63e2c104792>. Acesso em: 02.fev.2016

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science.** 3ª ed. Bookman, 2013.

MACHADO, C. A. S. **Determinação do índice de acessibilidade no município de Osasco/SP pelo uso de imagens de alta resolução espacial e SIG – Uma proposta metodológica**. 2008. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MENEZES, P. M. L. de; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de cartografia**. 1 Ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2013. 288p.

NEIVA, C. L.; RODRIGUES, D. S.; Ramos, R. A. R. **Redes pedonais para pessoas com mobilidade reduzida: exercícios de avaliação multicritério em Braga, Portugal**. In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belém (PA). Nov,2013, 12p. Disponível em:< <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/29036>>. Acesso em 06.nov.2014.

NEIS P.. **Measuring the reliability of wheelchair user route planning based on volunteered geographic information**. In: Transactions in GIS, v.19, n.2, p.188-201, 2015. Disponível em:< <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tgis.12087/full>>. Acesso em: 05.fev.2016

NUNES, T. C. G. **Adaptação de espaços públicos a pessoas com mobilidade condicionada – Idanha-a-Nova**. 141f. Dissertação (Mestrado em Construção Sustentável) – Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, 2013.

OLIVEIRA, J. L.; PIRES, F.; MEDEIROS, C. M. B. An environment for modeling and design of geographic applications. **Geoinformatica**, v. 1, n.1, p. 29-58, 1997.

PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMANYI, E. **Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time**. In: 7th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS'99). Kansas City, p. 26-33, 1999. Disponível em:< <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=320142>>. Acesso em: 27.jan.2016

POSTGIS. Disponível em:<<http://postgis.net/>>. Acesso em 02.fev.2016.

PUISSANT,A.; WEBER, C. **Les images à très haute résolution, une source d'information géographique en milieu urbain? État des lieux et perspectives**. In : L'Espace géographique. Paris, Vol.4, p. 345-356. 2003.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, Karine Reis. **Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos**. GeoBrasil 2006. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

REIS FILHO, A. A. **Análise integrada por geoprocessamento da expansão urbana de Teresina com base no estatuto da cidade: estudo de potencialidades, restrições e conflitos de interesse**. 278f. Tese (Doutorado em Geografia Urbana) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2012.

REM M; KARIMI H.A.. **A Chain-Code-Based Map Matching Algorithm for Wheelchair Navigation**. In: Trans GIS, v.13, n.2, p.197– 214, 2009. Disponível em:< <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2009.01147.x/full>>. Acesso em: 05.fev.2016

SARAIVA S. S. B.; SABADDINI, L. S. (Coord). Acessibilidade ao meio físico de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida. **Projeto IR e VIR: estudo de acessibilidade em Teresina - projeto de estudos de acessibilidade para as cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: Instituto Muito Especial, 2011, 300p.

SEAMPLAM - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. **Caracterização do Município**. Prefeitura Municipal de Teresina. Disponível em:<<http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/TERESINA-Characteriza%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o-do-Munic%C3%83-pio-2015.pdf>>. Acesso em: 05.Ab.2015.

SHEKHAR, S.; COYLE, M.; GOYAL, B.; LIU, D.; SARKAR, S. **Data models in geographic information systems**. In: Communications of the ACM, v. 40, n.4, p. 103-111, 1997.

SILVA NETO, J.C.A.; ALEIXO, N. C.R. **A utilização de sistemas de informações geográficas na análise da temperatura da superfície em ambientes antropizados**. In: Periódico Eletrônico IX Fórum Ambiental da Alta Paulista – SP, ISSN 1980-0827, Vol 9, n. 8, P. 1-18, 2013.

TERESINA. Lei Complementar nº 4.522, de 7 de Março de 2014. **Diário Oficial do Município de Teresina**, Teresina, PI, 15 mar. 2014. Disponível em: < <http://dom.teresina.pi.gov.br/admin/upload/DOM1605-14032014.pdf>>. Acesso em 22 abr. 2014.

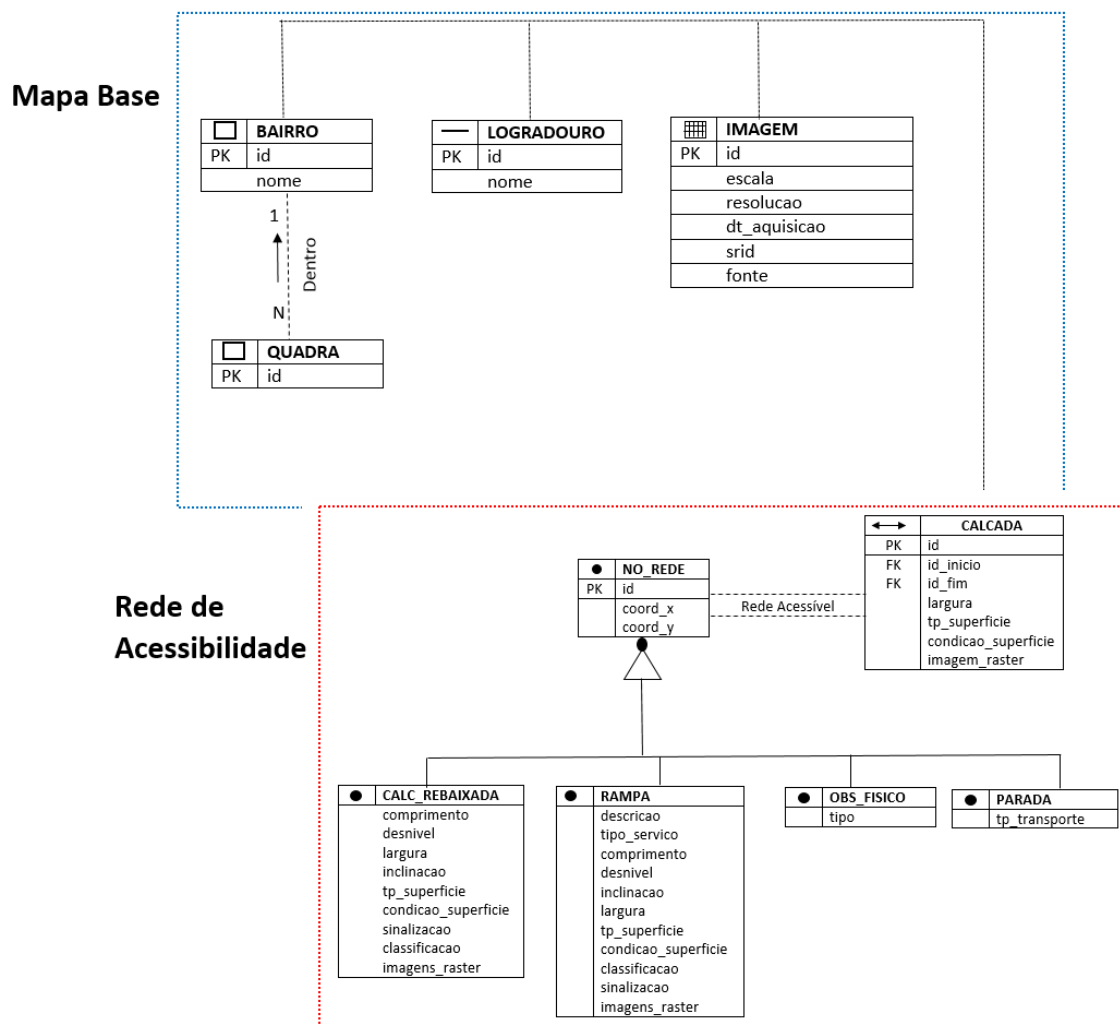
The PostgreSQL Global Development Group. Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>>. Acesso em 22 mai 2015.

TOLERICO M. L.; DING D.; COOPER R. A.; SPAETH D. M.; FITZGERALD S. G.; COOPER R.; KELLEHER A.; BONINGER M. L.. **Assessing mobility characteristics and activity levels of manual wheelchair users.** In: Journal of Rehabilitation Research and Development, v.44, n.4, p. 561 — 572, 2007
USUI, S; TSUJI J.; WAKIMOTO K.; TANAKA S.; KANDA J.; SATO F.; MIZUNO T.. **Evaluation of Positioning Accuracy for the Pedestrian Navigation System.** In: IEICE Transactions on Communications, v.88-B, n.7, p.2848-2855, 2005.

VASQUES, A. R. **Geotecnologias nos estudos sobre brownfields: identificação de brownfields em imagens de alta resolução espacial e análise da dinâmica da refuncionalização de antigas áreas fabris em São Paulo.** 2009. 245 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DIAGRAMA DE CLASSES DA MODELAGEM DE DADOS ESPACIAL PARA ACESSIBILIDADE



APÊNDICE B – DICIONÁRIO DE DADOS CONTENDO OS METADADOS

Feição	Atributos	Tipo de Dado	Tipo de Geometria	Descrição
Bairro	Id (PK) Nome Geom	Integer VarChar(20) Geometry	Polígono	Atributo chave Nome do bairro Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
Logradouro	Id (PK) Nome Geom	Integer VarChar(40) Geometry	Linha	Atributo chave Nome do logradouro Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
Quadra	Id (PK) Geom	Integer Geometry	Polígono	Atributo chave Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
Imagem	Id (PK) Escala Resolucao Dt_aquisicao srid Fonte	Integer VarChar(10) Double precision Date Integer VarChar(30)		Atributo chave Escala do raster Resolução em unidades de comprimento Data da aquisição ID do Sistema de Referência Espacial conforme tabela Spatial_Ref_Sys (PostGIS) Fonte do dado raster
No_rede	Id (PK) Coord_X Coord_Y Geom	Integer Double precision Double precision Geometry	Ponto	Atributo chave Coordenada no eixo X Coordenada no eixo Y Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S

Calçada	Id (PK) Id_inicio (FK) Id_fim (FK) Largura Tp_superficie Condicao_superficie Imagem Geom	Integer Integer Integer Double precision VarChar(20) VarChar(20) Raster Geometry	Linha	Atributo chave ID do nó início references no_rede (id) ID do nó final references no_rede (id) Largura do segmento calçada em centímetro Tipo de superfície: concreto, tijolo, paralelepípedos ou outros Condição física: rachada, regular, quebrada ou outros Fotografia da calçada rebaixada Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
Calc_rebaixada	Comprimento Desnivel Largura Inclinacao Tp_superficie Condicao_superficie Sinalizacao Classificacao Imagem Geom	Double precision Double precision Double precision Double precision VarChar(20) VarChar(20) Boolean Boolean Raster Geometry	Ponto	Comprimento da calçada rebaixada em centímetro Altura da calçada rebaixada em centímetro Largura da calçada rebaixada em centímetro Grau de inclinação (%) da calçada rebaixada Tipo de superfície: concreto, tijolo, paralelepípedos ou outros Condição física: rachada, regular, quebrada ou outros Define se há a sinalização de acesso (True ou False) Define se os parâmetros estão em conformidade com a Norma 9050/2004 (True ou False) Fotografia da calçada rebaixada Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S

Rampa	Descricao Tipo_servico	VarChar(40) VarChar(20)		Nome do equipamento de saúde Tipo de serviço público ofertado: educação, hospital, jurídico, comercio e outros Comprimento da rampa em centímetro Altura da rampa em centímetro Grau de inclinação (%) da rampa Largura da rampa em centímetro Tipo de superfície: concreto, tijolo, paralelepípedos ou outros Condição física: rachada, regular, quebrada ou outros Define se os parâmetros estão em conformidade com a Norma 9050/2004 (True ou False) Define se há a sinalização de acesso (True ou False) Fotografia da rampa Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
	Comprimento Desnivel Inclinacao Largura Tp_superficie Condicao_superficie Classificacao Sinalizacao Imagem Geom	Double precision Double precision Double precision Double precision VarChar(20) VarChar(20) Boolean Boolean Raster Geometry	Ponto	
Parada	Tp_transporte Geom	VarChar(20) Geometry	Ponto	Tipo de transporte público: ônibus, carro, taxi etc Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S
Obs_fisico	Tipo Geom	VarChar(20) Geometry	Ponto	Tipo de obstáculo físico que dificulta e/ou impede o deslocamento e a segurança da pessoa em cadeira de rodas Sistema de referência espacial Sirgas2000 - UTM Zona 23S

APÊNDICE C – COMANDOS SQL PARA A CRIAÇÃO DAS TABELAS ESPACIAIS NO POSTGRESQL/POSTGIS

```
-- Tabela de Bairros
-- DROP TABLE bairro
CREATE TABLE bairro (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    nome VarChar(20), -- Nome do bairro
    geom geometry(Polygon, 31983) -- 31983 (SIRGAS 2000, UTM ZONA 23S)
    CHECK (ST_IsValid(geom)) -- Restrição de integridade espacial para aceitar
    apenas polígonos simples.
);
```

```
-- Tabela de Logradouros
-- DROP TABLE logradouro
CREATE TABLE logradouro (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    nome VarChar(40), -- Nome do logradouro
    geom geometry(Linestring, 31983) -- 31983 (SIRGAS 2000, UTM ZONA 23S)
    CHECK (ST_IsSimple(geom)) -- Restrição de integridade espacial para aceitar
    apenas linhas simples.
);
```

```
-- Tabela de Quadras
-- DROP TABLE quadra
CREATE TABLE quadra (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    geom geometry(Polygon, 31983) -- 31983 (SIRGAS 200, UTM ZONA 23S)
    CHECK (ST_IsValid(geom)) -- Restrição de integridade espacial para aceitar
    apenas polígonos simples.
);
```

```
-- Tabela de Imagens (Raster)
-- DROP TABLE imagem
CREATE TABLE imagem (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    escala VarChar(10), -- Escala do raster
    resolucao double precision, -- Resolução em unidades de comprimento
    dt_aquisicao date, -- Data da aquisição
    srid integer, -- Id do Sistema de Referência Espacial, conforme tabela
    Spatial_Ref_Sys ( PostGIS)
    fonte VarChar(30), -- Fonte do dado raster
);
```

```
-- Tabela de Nó
-- DROP TABLE no_rede
CREATE TABLE no_rede (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    coord_x double precision, -- Coordenada no eixo X
    coord_y double precision, -- Coordenada no eixo y
    geom geometry(Point, 31983)-- 31983 (SIRGAS 200, UTM ZONA 23S)
);

-- Tabela Calçadas
-- DROP TABLE calcada
CREATE TABLE calcada (
    id SERIAL PRIMARY KEY, -- Atributo chave
    id_inicio integer references no_rede(id), -- id do nó início (FK de no_rede)
    id_fim integer references no_rede(id), -- id do nó final (FK de no_rede)
    --comprimento double precision, -- Comprimento do segmento calçada em
metros
    largura double precision, -- Largura do segmento calçada em centímetros
    --inclinacao double precision, -- Grau de inclinação (%) ao longo de cada
segmento de calçada
    tp_superficie VarChar(20), -- Tipo de superfície: concreto, asfalto, tijolo,
paralelepípedos ou outros
    condicao_superficie VarChar(20), -- Condição física do segmento calçada:
Rachaduras, tampa de bueiro, superfície irregular
    --id_logradouro integer references logradouro(id), -- Id do logradouro onde se
localiza o segmento (FK de logradouro)
    imagens raster, -- Fotografia da calçada
    geom geometry(Linestring, 31983) -- 31983 (SIRGAS 200, UTM ZONA 23S)
    CHECK (ST_IsSimple(geom)) -- Restrição de integridade espacial para aceitar
apenas linhas simples.
);

-- Tabela Calçadas Rebaixadas
-- DROP TABLE calc_rebaixada
CREATE TABLE calc_rebaixada (
    comprimento double precision, -- Comprimento da calçada rebaixada em
centímetros
    desnivel double precision, -- Diferença de altura do início ao fim da calçada
rebaixada
    largura double precision, -- Largura da calçada rebaixada em centímetros
    inclinacao double precision, -- O grau de inclinação (%) da calçada rebaixada
    tp_superficie VarChar(20), -- Tipo de superfície: concreto, asfalto, tijolo,
paralelepípedos ou outros
    condicao_superficie VarChar(20), -- Condição física do segmento calçada:
rachaduras, tampa de bueiro, superfície irregular
    sinalizacao boolean, -- Define se há presença de sinalização na calçada
rebaixada (True ou False)
```

```

--id_logradouro integer references logradouro(id), -- Id do logradouro onde se
localiza o o rebaixamento (FK do logradouro)
classificacao boolean, -- Define se os parâmetros estão em conformidade com
a Norma 9050/2004 (True ou False)
imagens raster -- Fotografia da calçada rebaixada
) inherits (no_rede);

```

```

-- Tabela de Rampas
-- DROP TABLE rampa
CREATE TABLE rampa (
    descricao VarChar(40), -- Descrição do ponto de interesse
    tipo_servico VarChar(20), -- Tipo de serviço público ofertado: educação,
hospital, jurídico, comercio etc
    comprimento double precision, -- Comprimento da rampa em centímetros
    inclinacao double precision, -- O grau de inclinação (%) da rampa
    desnivel double precision, -- Diferença de altura do início ao fim da rampa
    largura double precision, -- Largura da rampa em centímetros
    tp_superficie VarChar(20), -- Tipo de superfície da rampa: concreto, asfalto,
tijolo, paralelepípedos ou outros
    condicao_superficie VarChar(20), -- Condição física do segmento calçada:
rachaduras, tampa de bueiro, superfície irregular
    --id_logradouro integer references logradouro(id), -- Id do logradouro onde se
localiza o rebaixamento (FK do logradouro)
    classificacao boolean, -- Define se os parâmetros estão em conformidade com
a Norma 9050/2004 (True ou False)
    sinalizacao boolean, -- Define se a rampa está devidamente sinalizada (True
ou False)
    imagens raster -- Fotografia da rampa
) inherits (no_rede);

```

```

-- Tabela de Paradas
-- DROP TABLE parada
CREATE TABLE parada (
    tp_transporte VarChar(20), -- Tipo de transporte público: ônibus, carro, taxi etc
    --id_logradouro integer references logradouro(id) -- Id do logradouro onde se
localiza a parada (FK do logradouro)
) inherits (no_rede);

```

```

-- Tabela de Obstáculo Físico
-- DROP TABLE obs_fisico
CREATE TABLE obs_fisico (
    tipo VarChar(20), -- Tipo de obstáculo físico que dificulta e/ou impede o
deslocamento e a segurança do cadeirante
    --id_logradouro integer references logradouro(id) -- Id do logradouro onde se
localiza o obstáculo físico (FK do logradouro)
) inherits (no_rede);

```

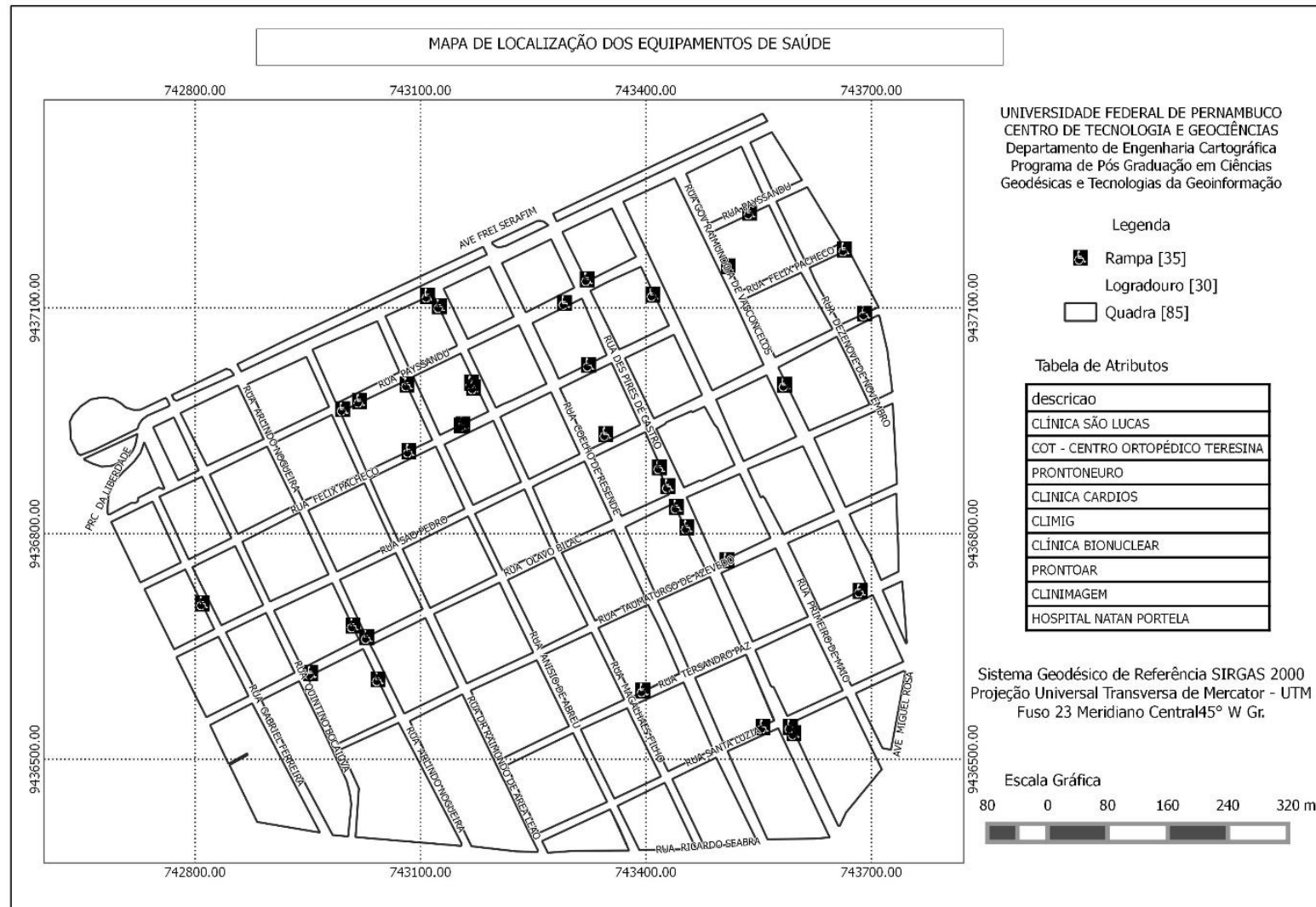
APÊNDICE D - COMANDOS SQL PARA RESTRIÇÃO DE INTEGRIDADE ESPACIAL: RESTRIÇÕES TOPOLÓGICAS

```
-- Função para verificação de relação topológica - QUADRA dentro de BAIRRO
CREATE OR REPLACE FUNCTION Verifica_quadra_dentro_bairro() RETURNS
TRIGGER AS $BODY$
DECLARE
    resultado BOOLEAN;
    geom_f geometry(Polygon,31983);
    id_f integer;
BEGIN
    geom_f = NEW.geom;
    id_f = NEW.id;
    resultado := (SELECT ST_Within(geom_f, b.geom) FROM bairro b);
    IF resultado THEN
        RETURN NEW;
    ELSE
        RAISE EXCEPTION 'Quadra (%) não está contida em um Bairro', id_f;
    END IF;
END;
$BODY$
LANGUAGE 'plpgsql';

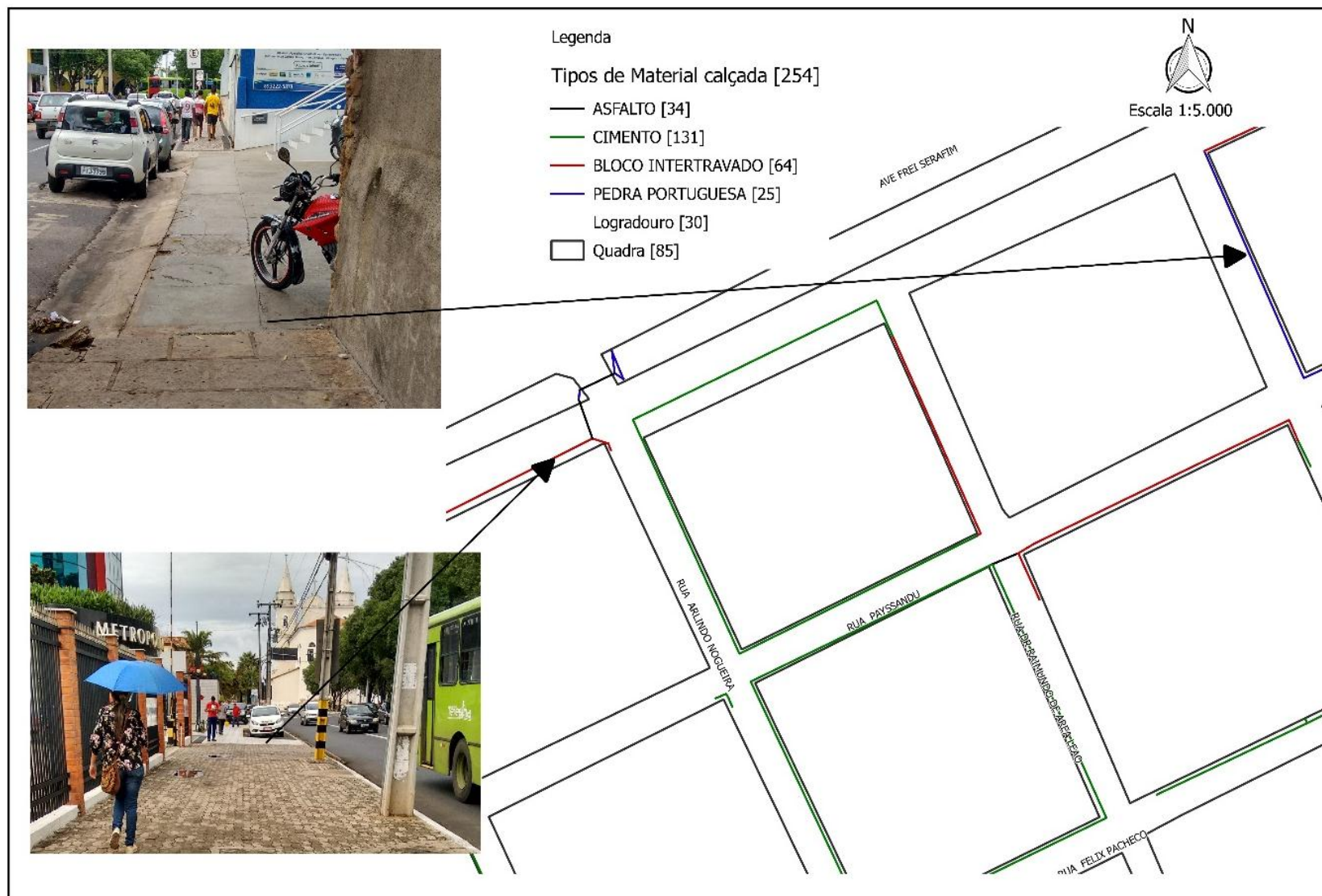
-- Trigger para ativação da função Verifica_quadra_dentro_bairro()
CREATE TRIGGER Verifica_quadra_dentro_bairro
    BEFORE INSERT
    ON quadra
    FOR EACH ROW
    EXECUTE PROCEDURE Verifica_quadra_dentro_bairro();
```


[illegible]

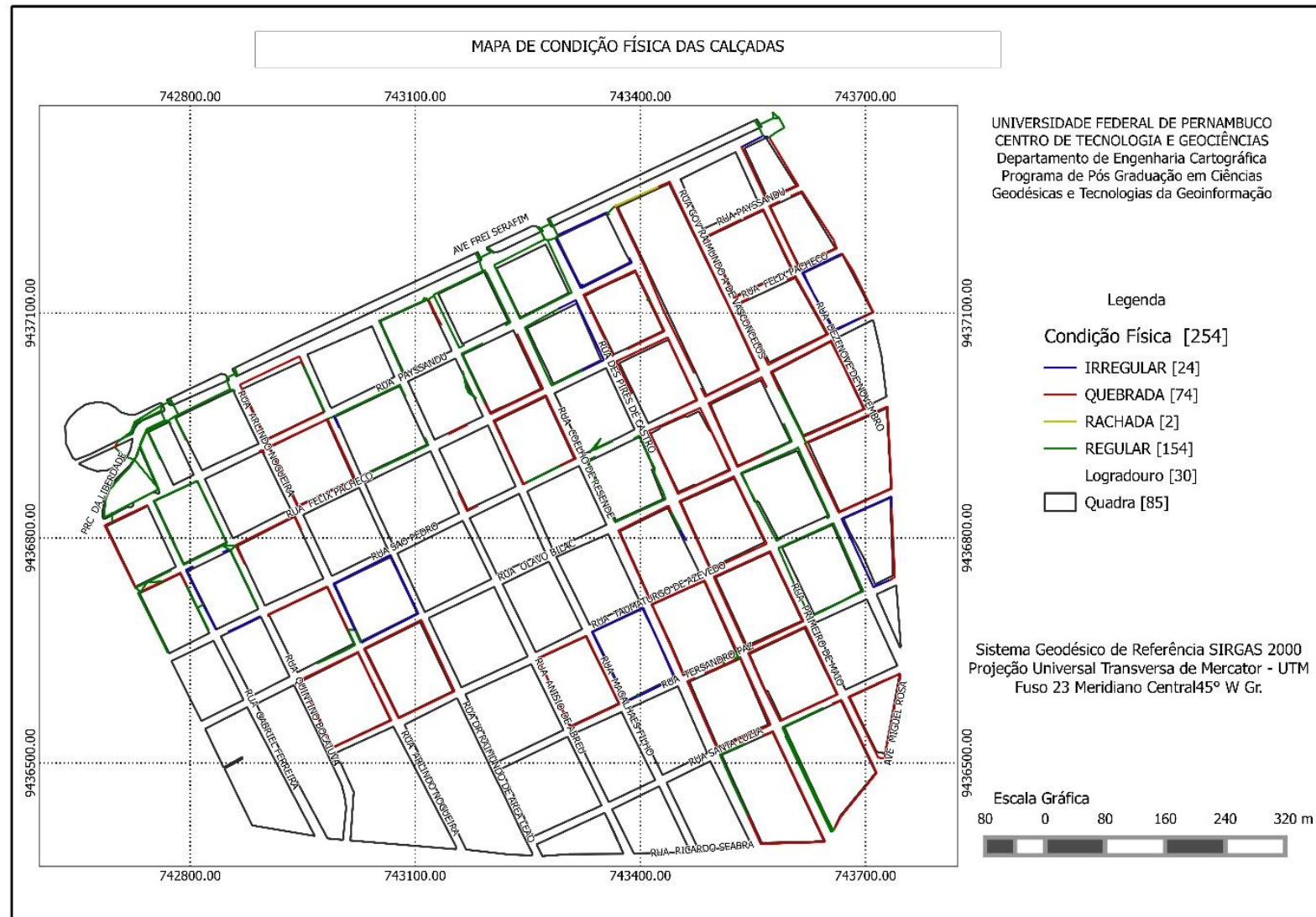
APÊNDICE G – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE COM RAMPAS



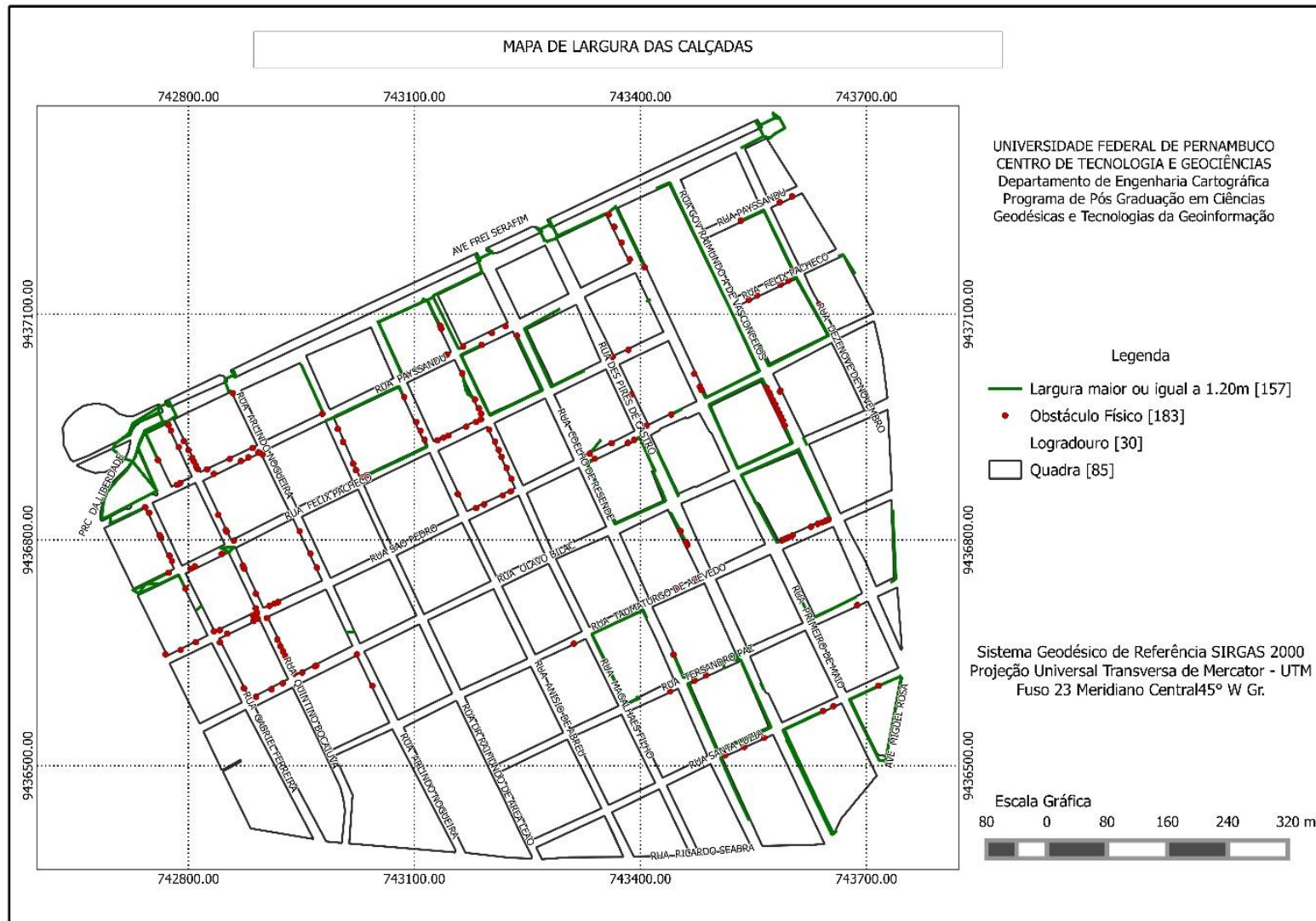
APÊNDICE J - RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA COM TIPOS DE MATERIAL DAS CALÇADAS



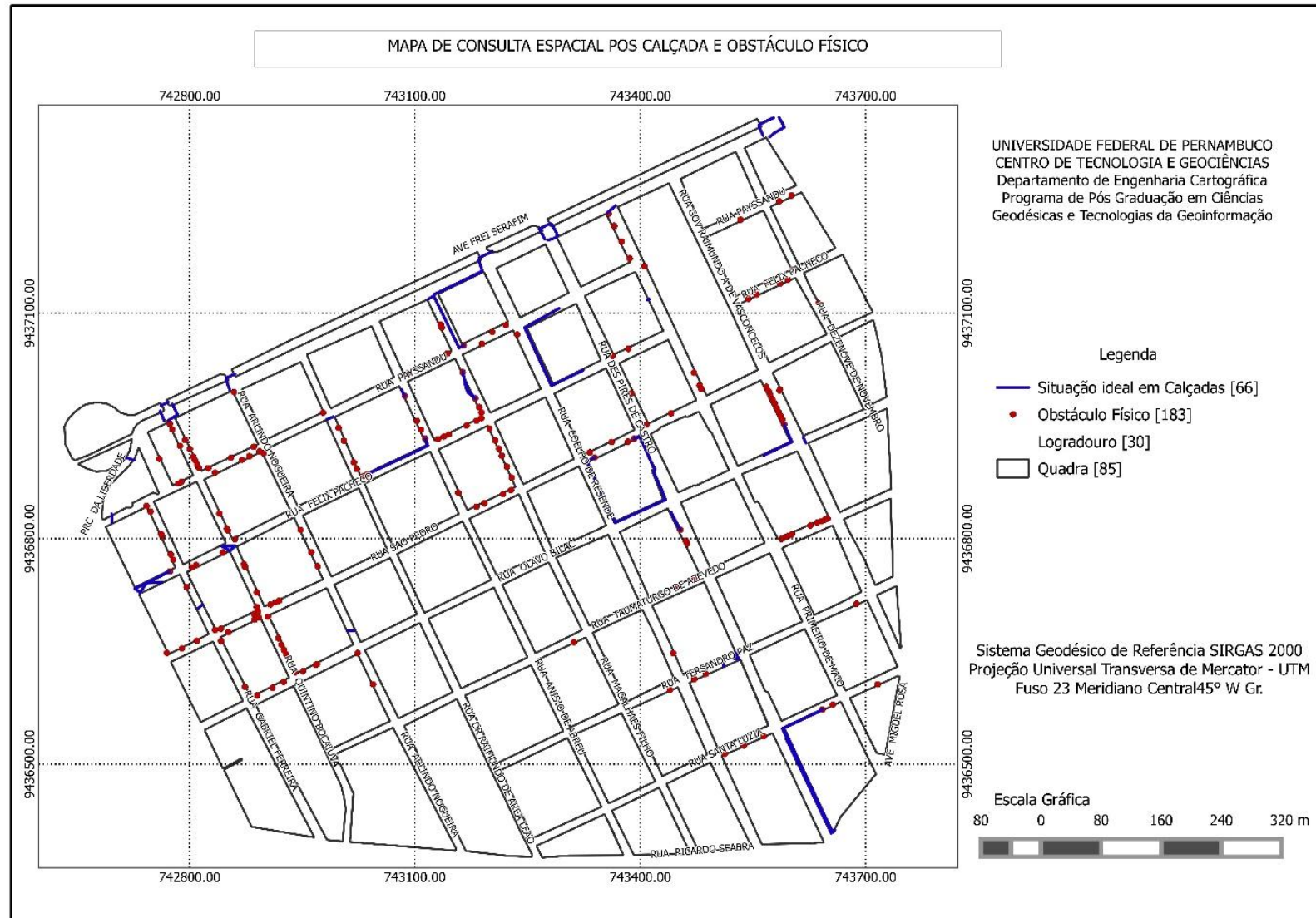
APÊNDICE K - MAPA TEMÁTICO POR CONDIÇÃO FÍSICA DAS CALÇADAS



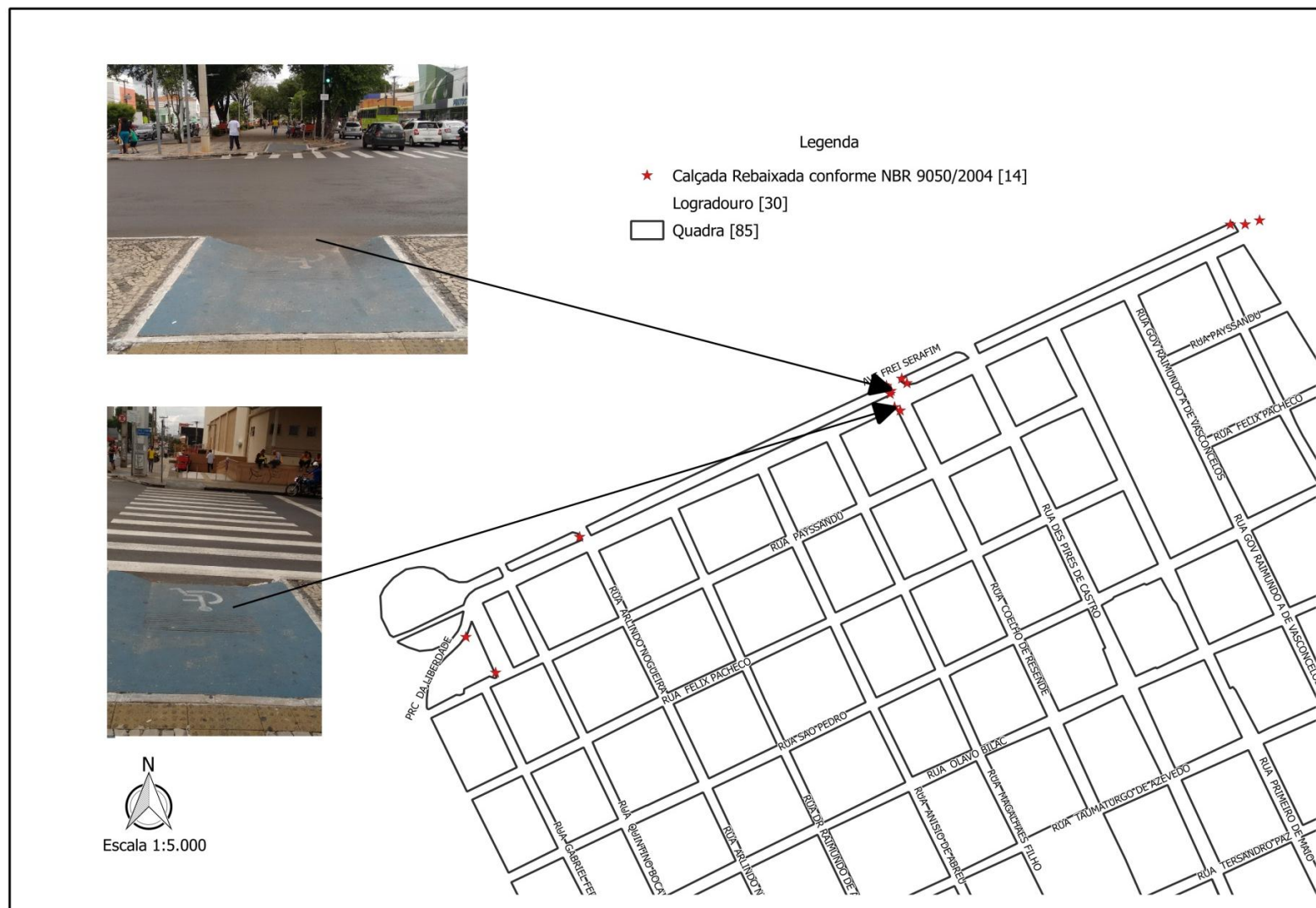
APÊNDICE L - LOCALIZAÇÃO DOS SEGMENTOS DE CALÇADA CONFORME NBR 9050/2004



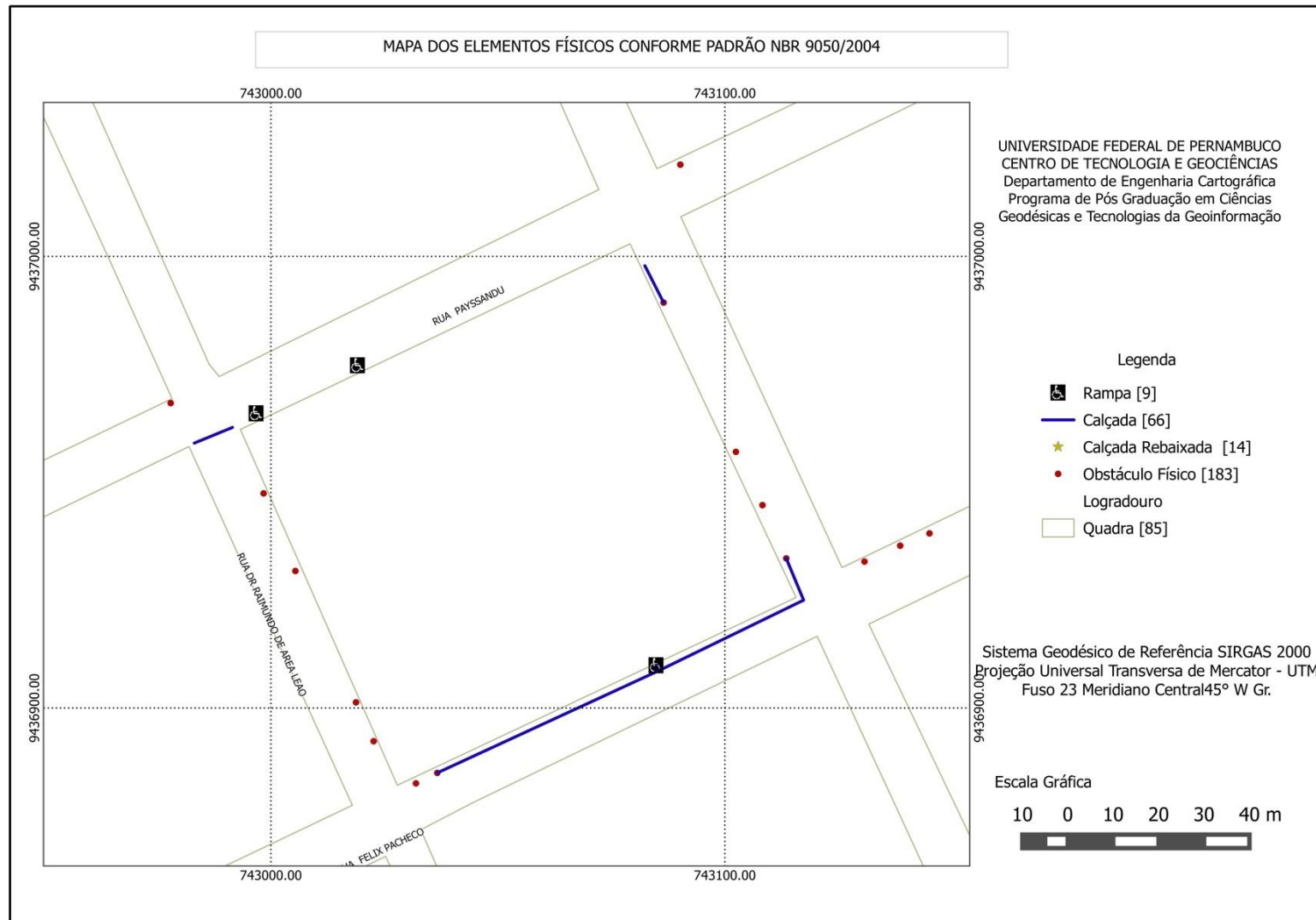
APÊNDICE M - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL SEGUNDO SITUAÇÃO IDEAL PARA MOBILIDADE NAS CALÇADAS



APÊNDICE P - RECORTE DA BASE CARTOGRÁFICA DE CALÇADAS REBAIXADAS PADRONIZADAS



APÊNDICE Q - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS CONFORME NBR 9050/2004

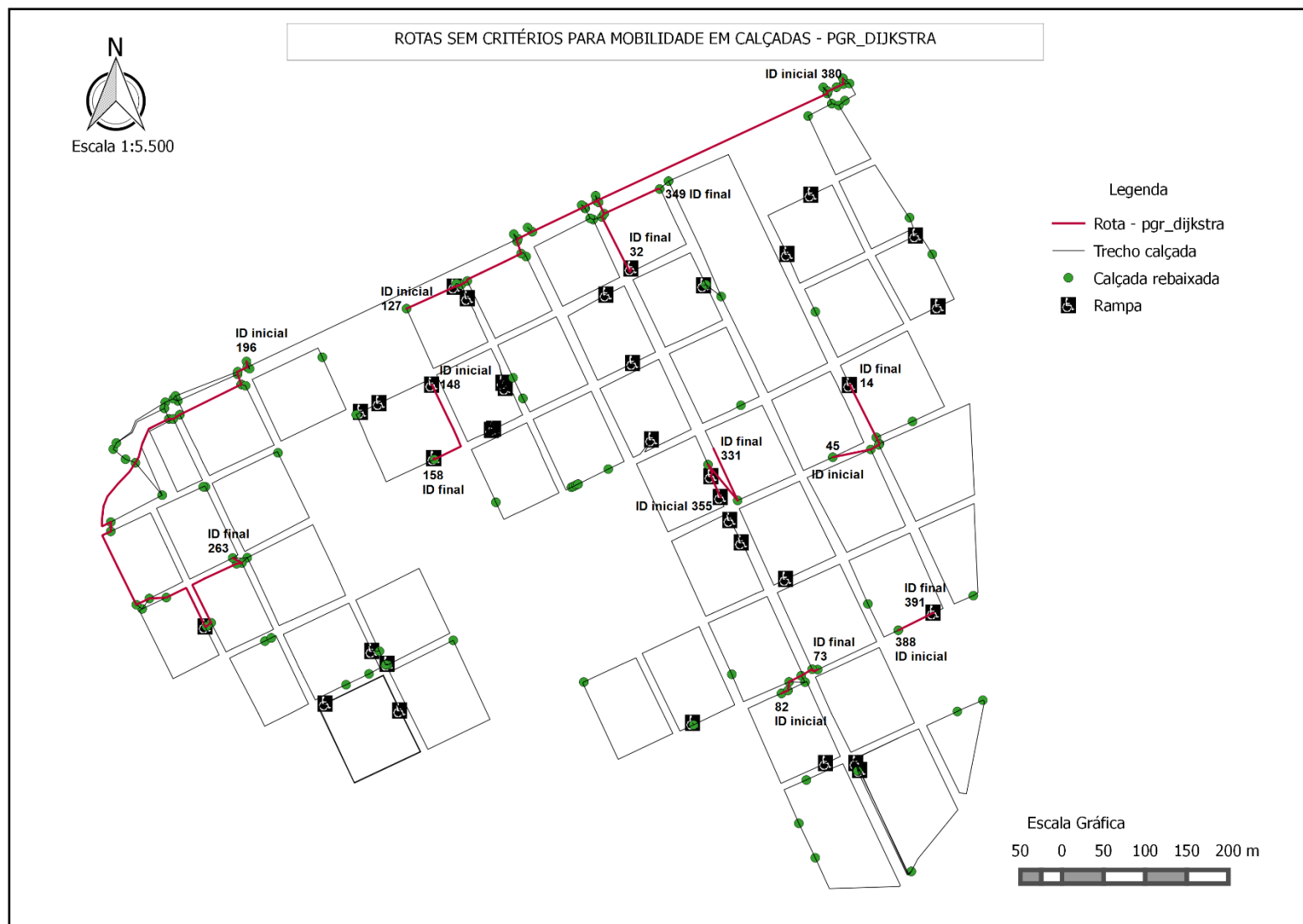


APÊNDICE R - SCRIPT PARA ATUALIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS ID_INICIO E ID_FIM NA TABELA CALCADA

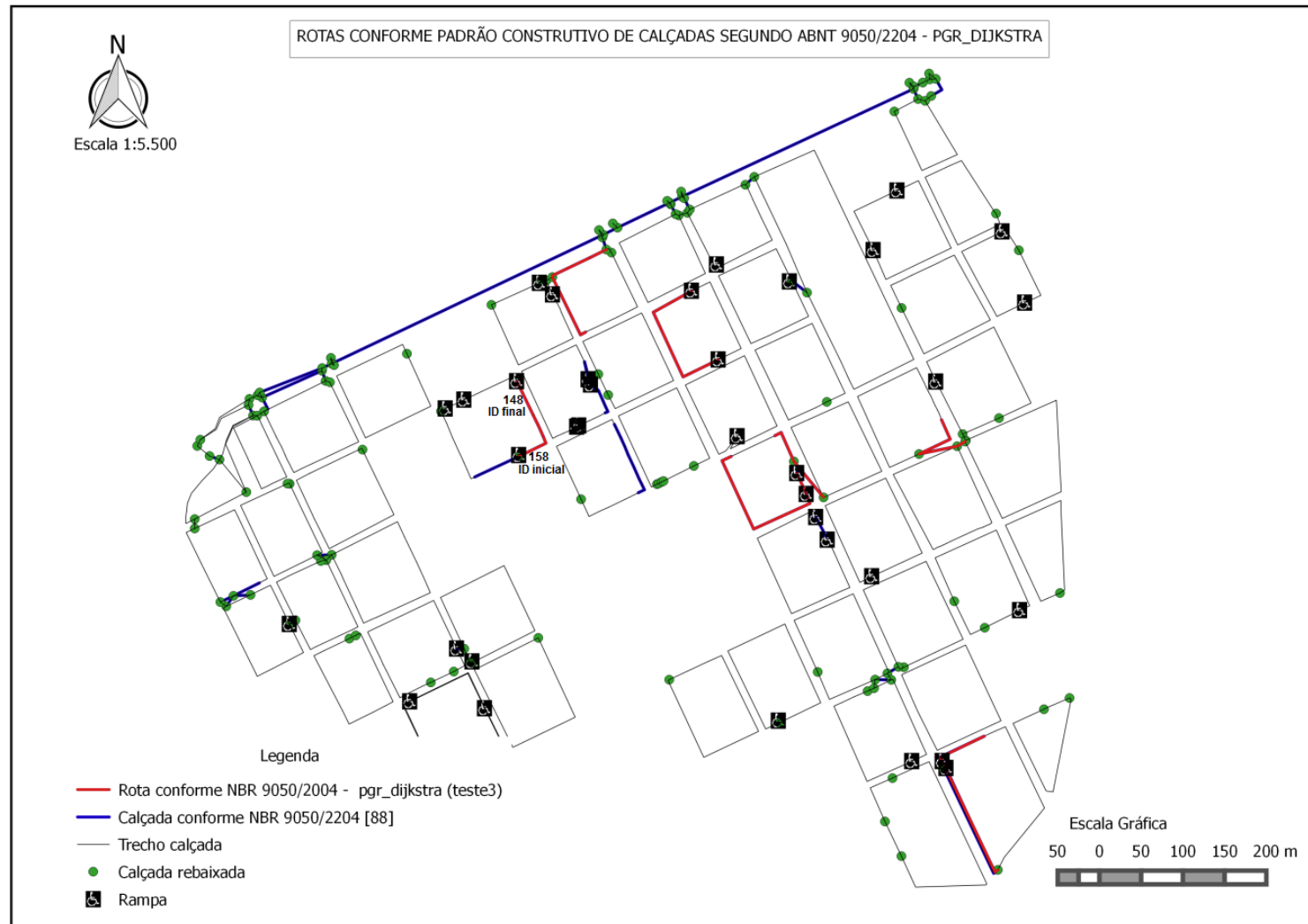
```
update   calcada c set id_inicio=n.id  
from     no_rede as n where ST_Equals(ST_StartPoint(c.geom),n.geom);
```

```
update   calcada c set id_fim=n.id  
from     no_rede as n where ST_Equals(ST_EndPoint(c.geom),n.geom);
```

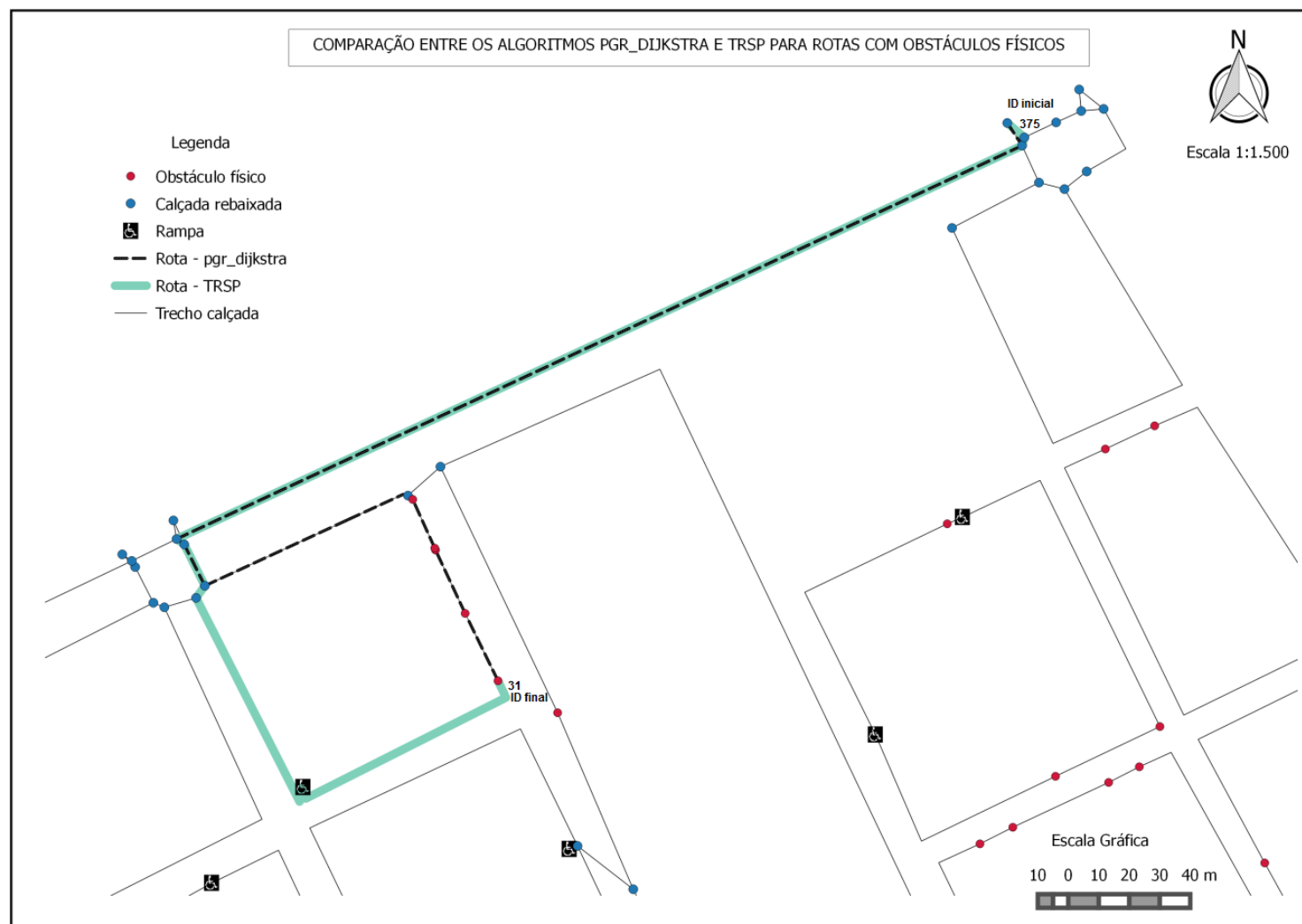
APÊNDICE S - ROTAS PARA MOBILIDADE EM CALÇADAS COM ALGORITMO PGR_DIJKSTRA



APÊNDICE T – ROTAS PARA MOBILIDADE DE PESSOAS EM CADEIRAS DE RODAS SEGUNDO ABNT 9050/2004

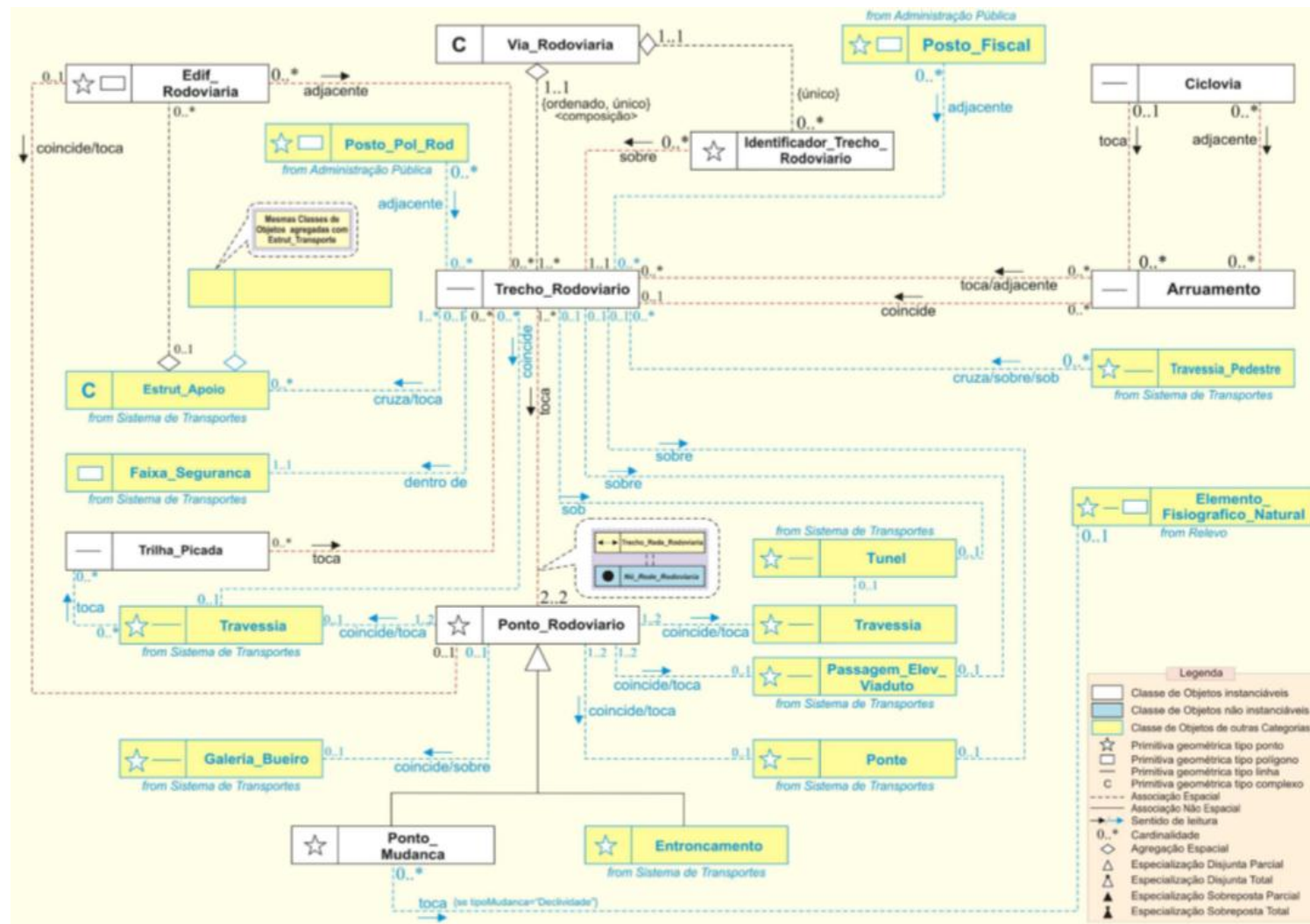


APÊNDICE U – ROTAS COM PRESENÇA DE OBSTÁCULOS FÍSICOS

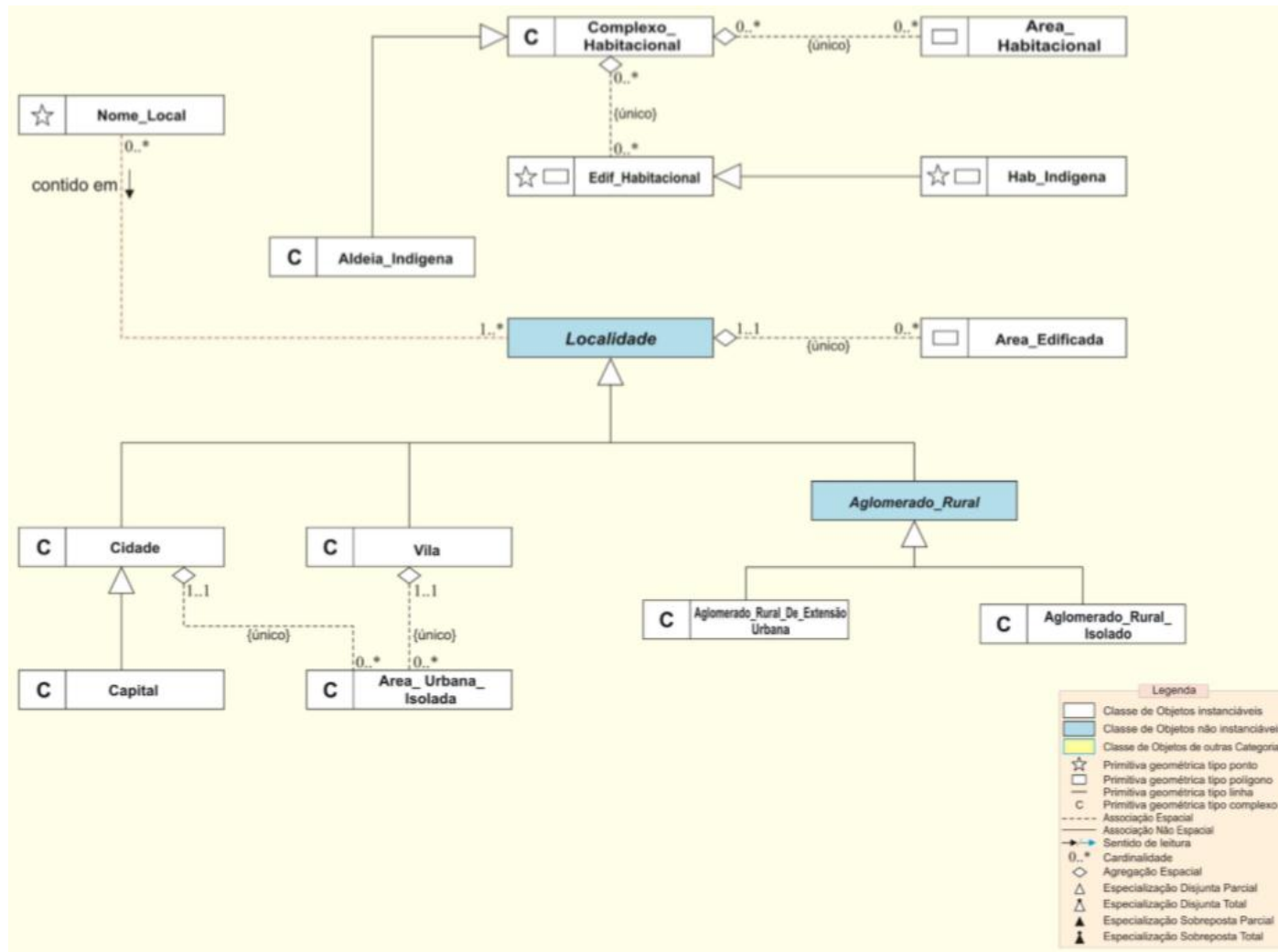


ANEXOS

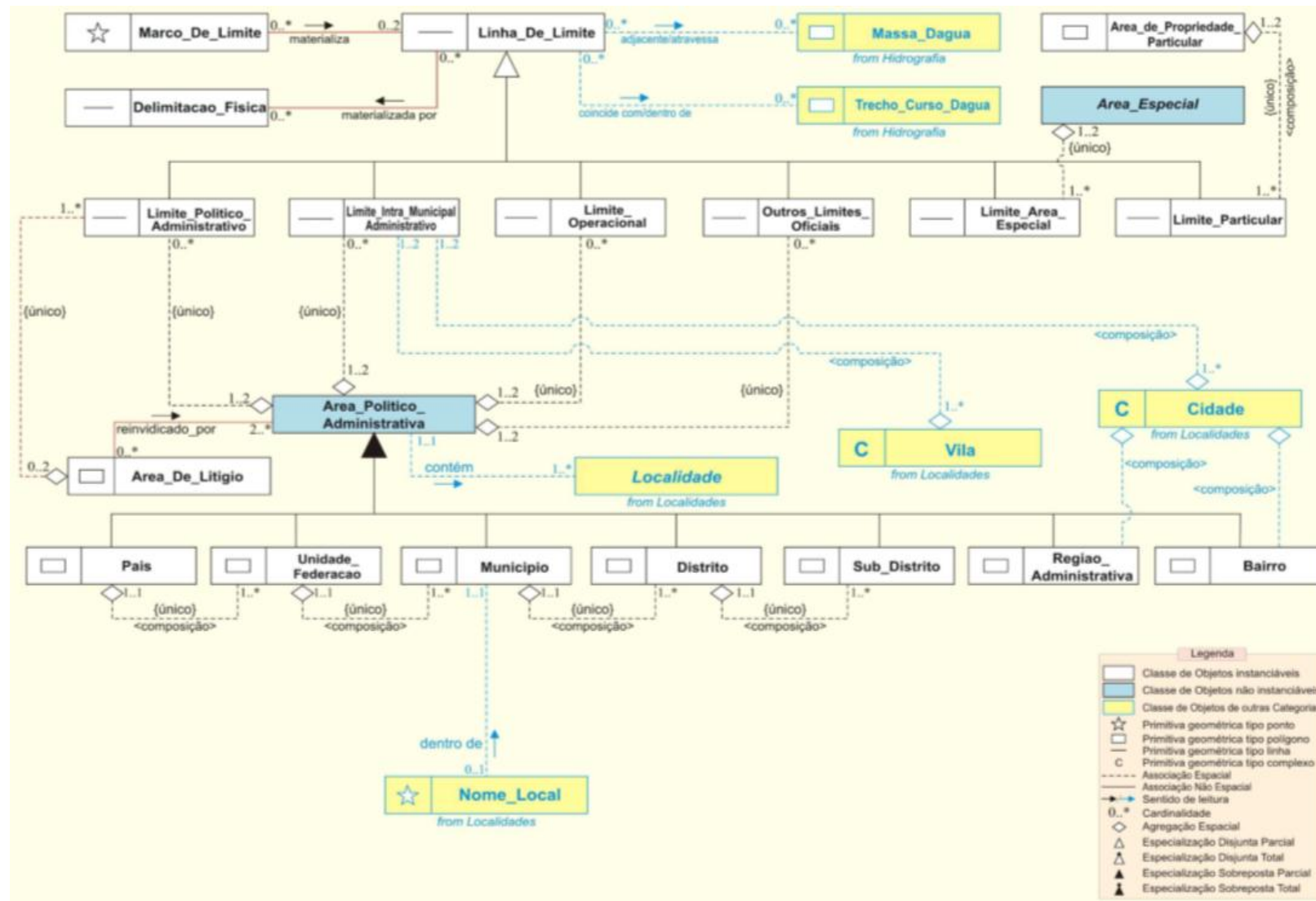
ANEXO A – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA SISTEMA DE TRANSPORTES CONTIDO NA INDE



ANEXO B – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA LOCALIDADES CONTIDO NA INDE



ANEXO C – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA LIMITES CONTIDO NA INDE



ANEXO D – DIAGRAMA DE CLASSES MODELADO EM OMT-G REFERENTE A CATEGORIA SAÚDE E SERVIÇO SOCIAL CONTIDO NA INDE

