



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL - PPGTG

ANDRÉ FELIPE BOZIO

**MODELAGEM CONCEITUAL APLICADA AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE
APTIDÃO ÀS FUNDAÇÕES**

Florianópolis
2022

ANDRÉ FELIPE BOZIO

**MODELAGEM CONCEITUAL APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE
APTIDÃO ÀS FUNDAÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão Territorial.

Orientadora: Prof.^a. Vivian da Silva Celestino Reginato,
Dra.

Coorientador: Prof.^o. Rafael Augusto dos Reis Higashi,
Dr.

Florianópolis

2022

Bozio, André Felipe

MODELAGEM CONCEITUAL APLICADA AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE APTIDÃO ÀS FUNDAÇÕES / André Felipe Bozio ; orientador, Vivian da Silva Celestino Reginato, coorientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, 2022.

166 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Mapeamento Geotécnico. 3. Aptidão às Fundações. 4. Sondagem SPT. 5. Modelagem Conceitual de Dados. I. Reginato, Vivian da Silva Celestino. II. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. IV. Título.

ANDRÉ FELIPE BOZIO

**MODELAGEM CONCEITUAL APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE
APTIDÃO ÀS FUNDAÇÕES**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 02 de setembro de 2022, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^o Clodoveu Augusto Davis Junior, Dr.
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Prof^a. Gracieli Dienstmann, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof^o. Everton da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Gestão Territorial

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial -
PPGTG

Prof^a. Vivian da Silva Celestino Reginato, Dra.
Orientadora.

Florianópolis, 2022.

Durante estes anos de pesquisa, escrevi textos, deixando calado palavras aos meus grandes heróis. Tenho saudades de concretizar em frases como meu eterno pai e minha querida mãe apresentam-se relacionados com esta pesquisa.

Discorro, na temática desta dissertação, textos sobre abstrações do mundo real, defino a partir disso, relacionamentos e possíveis transformações que as coisas deste mundo possuem.

Aprendi a partir de vocês, a representação do amor, o relacionamento que este construto teve, tem e continua tendo em minha vida. Vocês, me mostraram o poder do “eu te amo”. Nas palavras de Elis Regina, apesar de ter feito tudo, de ter chegado à linha final, ainda sou o mesmo e continuo vivendo igual a vocês.

A vocês eu dedico meu ato mais intenso de amor, por meio desta pesquisa, por meio da minha trajetória, pelas chances que vocês me deram, pelos abraços mais sinceros da minha vida. Ao meu pai, dedico esta pesquisa e este momento, pelo nosso último abraço e por seu último “TE AMO, FILHO!” Quero, pra sempre, agir e seguir minha carreira com esta representação de amor, em tudo que eu for capaz de fazer, de conquistar, de começar e de terminar.

Obrigado, meus eternos heróis!

De André, ao meu pai Luciano, que se foi, deixando em mim o sentido de permanecer, e à minha mãe Nádia, por além de permanecer ao meu lado, continuar me impulsionando a cada dia a voar, deixando o legado mais lindo, o qual tive o privilégio de ter: me apresentarem a representação do AMOR.

Prólogo

hist.teat no antigo teatro grego, a primeira parte da tragédia, em forma de diálogo entre personagens ou monólogo, na qual se fazia a exposição do tema da tragédia.

PRÓLOGO DO AUTOR

Um dia, ansioso por ainda não ter encontrado meu problema de pesquisa, pensei: André, a dissertação não é uma corrida de 100 metros, a sobreposição de duas bases cartográficas no *software* de geo. A dissertação é uma maratona, é uma árdua saída a campo, levantando infindáveis dados, daqueles difíceis, que te desafiam e te testam. E essa comparação fez tanto sentido que o processo de gerenciar essa quantidade de dados, tanto dos mapeamentos geotécnicos, como do próprio mundo da pesquisa, se tornou a minha dissertação. Os sentimentos que os dois me trazem, hoje já completamente misturados, me acompanharam em todo o processo de desenvolvimento desta dissertação.

Toda vez que saio para uma coleta de dados, saber qual objetivo e quais as etapas para a realização dos resultados finais é essencial. É preciso saber quais os dados que necessito coletar, primeiramente. Onde encontro os dados pré-existentes ou primários? Qual a escala necessária pra sobreposição desta etapa? Quais são os atributos necessários que devem constar nesta carta? Onde acho este dado? Como o descrevo nas planilhas? O que deve constar na planilha? O que preciso relacionar para obter tal resultado? Estas são perguntas que eu faço quando começo um processo de mapeamento geotécnico, especificamente relacionado às fundações.

Dependendo das respostas para estas perguntas, sei que levarei mais tempo ou menos tempo, será mais fácil ou mais difícil. Dependendo destas respostas, meus resultados me levam a transformar os dados em informações de uma forma ou de outra, fazendo com que o conhecimento seja transmitido de maneira dessemelhante, apesar de possuir as mesmas origens.

Como engenheiro civil, penso que conhecer meu ambiente e minha área de estudo seja fundamental, penso de que forma minhas habilidades podem ser potencializadas e como posso reconhecer as adversidades e fazer que eu me prepare melhor para o que está por vir, planejando um percurso que seja estável, padronizado e, ao mesmo tempo, desafiador. Afinal, é preciso uma dose de emoção!

Com isso em mente, desenvolvi e escrevi esta pesquisa, em que conto os passos que pretendo colocar em prática para chegar aos objetivos traçados lá no início. Assim como nos trabalhos de mapeamento, sei que tenho um longo caminho pela frente, e cada etapa merece a devida atenção. Planejar o percurso de um mapeamento exige estratégia. A dissertação também.

Depois de muito pensar sobre minhas habilidades, minha bagagem como aluno, minha decisão de usar a modelagem de dados geográficos, meu problema de pesquisa e a linha que pretendo desenvolver dentro do mapeamento geotécnico, percebi que eu precisava demarcar

meu território, mas não deveria cercá-lo. Então, optei por utilizar a modelagem de dados e aplicá-la em uma de suas finalidades (aptidão às fundações), que servirá como subsídio ao futuro do mapeamento geotécnico. Além de me parecer bastante desafiadora, acredito que ela me proporcionará ferramentas, orientação e, ao mesmo tempo (e com muita responsabilidade), alguma liberdade para correr esses quilômetros que me conduzirão à linha de chegada.

Porém, desde que decidi estruturar um modelo conceitual de dados geográficos, uma pergunta está presente em tudo o que eu faço: como conseguir definir um fluxo de trabalho sem que as minhas vontades estejam *a priori*? Como fazer isso? Percebi que seria possível fazê-lo quando vi que a base deste modelo eram os passos já definidos pela bibliografia.

Assim, consciente da necessidade de reflexão contínua, de acreditar que não exista um modelo, integralmente pronto, apresento-lhes a partir de agora, o planejamento da minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Dada esta trajetória, e o percurso seguido para concretizar esta dissertação, os caminhos e momentos mais transformadores da minha vida se devem à algumas pessoas. Pessoas estas que personificaram as múltiplas representações que este trabalho possui na minha vida. Cito aqui algumas peças fundamentais que completaram meu caminho e mudaram, de fato, minha história e meu processo de enxergar o mundo, as coisas, seus relacionamentos e minhas fundações.

Desde aquela terceira carteira na sala de aula em que eu permanecia, sem compreender absolutamente nada do arcabouço que me era apresentado, notei um diferencial em uma pessoa. Humanidade, empatia, amor por ensinar, em aprender, em pesquisar, em filosofar, em permanecer, em ser, sem dúvidas, a justificativa para a chegada. Chegamos juntos, unidos mesmo que por conversas das mais aleatórias possíveis e que subsidiaram o traçado do início ao fim desta pesquisa. Construí absolutamente tudo ao seu lado, se tornou uma das mais importantes pessoas destes anos, talvez a mais representativa. Sem você, não teria desenvolvido tanto o meu ser. Obrigado, do fundo do meu coração, à minha eterna orientadora e amiga, Prof.^a Vivian, representas o que ainda me tornarei, representas minha luta.

Neste contexto, dedico meus agradecimentos geotécnicos ao meu coorientador, Prof.^o Higashi. Lembro-me abrindo a porta da sua sala, com as primeiras pisadas na UFSC, sentando à sua frente e, com o maior entusiasmo, lhe falando: “eu quero pesquisar”. Você me mostrou as possibilidades de iniciar o processo, e, sucintamente, entregou como presente sua linha de pesquisa. Hoje sou grato a você pela parceria em aceitar esse desafio, com pequenas palavras e grandes contribuições, fizeram a multidisciplinaridade deste trabalho se concretizar. Representas o cerne do meu processo, meu primeiro contato, desde o processo seletivo, até este momento. Que possamos permanecer nesta sinergia por muito tempo. Obrigado, verdadeiramente, a você, meu grande coorientador.

Aos professores que compuseram a banca. Entre suas diferentes perspectivas, aceitaram representar uma das etapas mais responsáveis deste processo: avaliar a construção daquilo que pra mim foi uma das fases mais importantes da minha vida, meu trabalho (reflexo de quem sou). Obrigado, ao Prof.^o Clodoveu Davis Junior, à Prof.^a Gracieli e ao Prof.^o Everton. Seus papéis são fundamentais para que a ciência, de fato, seja contributiva e evidente. Vocês representam meu teste, minha comprovação como pesquisador.

Construir um pensamento científico, desde nosso primeiro encontro, foi a chave de virada para entender o quanto a pesquisa impactaria a minha vida. Por meio de você,

compreendi como colocar essa pesquisa em pé. Obrigado, Fernanda Scussel, pela amizade e pela profissional tão incrível que és. Sorte daqueles que podem usufruir daquilo que você produz.

Dentre os dias de maior angústia, insatisfação, medos e inseguranças, vocês foram a ligação entre meus desafios e meus propósitos. Nas vitórias, vocês comemoraram em consonância à minha alegria. Amigos, a representação do meu comemorar. Sem dúvidas, tiveram papel essencial para esta linha de chegada.

Ao Instituto Brusquense de Planejamento, por me permitir crescer profissionalmente, me apresentando pessoas incríveis e, momentos relacionados à minha profissão, inenarráveis. Compreender a dinâmica da área do planejamento urbano fez com que minha área de formação expandisse horizontes para além daquilo que a engenharia civil me construiu. Todos os dias, um novo desafio, um novo aprendizado e uma nova realização.

À UNIFEDE, por ter feito parte do início desta jornada, iniciando e fomentando o início do meu interesse pela pesquisa. Obrigado aos professores, colegas e amigos que construí nessa universidade, onde me formei, trabalhei e continuarei trabalhando.

Muito obrigado à Universidade Federal de Santa Catarina, principalmente ao Departamento de Engenharia Civil e ao PPGTG. Programa no qual me apresentou à multidisciplinaridade e construiu um pensamento crítico tendo em vista as diversas formas de enxergar o mundo e o território que vivemos. Obrigado a todos os mestres, que de alguma forma impactaram minha visão profissional e pessoal.

À minha família, meus pais, minha irmã (Gabi), meus avós e meus tios (Nana e Juli). Por fim, por representarem as pessoas que seguram a faixa da linha de chegada, a qual cheguei depois da maratona percorrida. Abraço e abraçarei para sempre vocês, meus grandes amores. Obrigado, ao meu porto seguro, minhas âncoras, meus alicerces, minhas fundações. Àqueles que me sustentam.

Por fim, obrigado a todos que de alguma forma construíram e colaboraram para a elaboração deste trabalho. Porém, mais do que a construção deste trabalho, agradeço a todos que percorrem junto de mim este caminho, o qual representa muito mais que uma dissertação, representa uma das maiores transformações da minha vida. Obrigado, Deus.

Aprendi a ser, o máximo, de mim mesmo.

Nelson Rodrigues

RESUMO

Banco de dados geotécnicos dão suporte à produção de mapas geotécnicos de aptidão às fundações, pois possuem parâmetros e documentos importantes para realizar os mapeamentos. Porém, são percebidas fragilidades em relação à coleta e armazenamento dos dados necessários para estruturar esses bancos. Como lacuna desta pesquisa, a não padronização nas etapas de preenchimento desses dados resulta na impossibilidade de integrações entre dados, documentos e mapas geotécnicos, resultando em erros de interoperabilidade, redundância e impossibilidade de relacionamento com outras bases cartográficas. Dado o exposto, este trabalho objetivou modelar conceitualmente dados geotécnicos, fornecendo um caminho para a estruturação e disponibilização destes, de forma a suportar a produção de mapas de aptidão às fundações. Especificamente, os objetivos são definir o cenário observacional compreendendo como os dados geotécnicos são obtidos e como podem ser transformados e representados conceitualmente em banco de dados; determinar o fluxo de informações e suas possíveis interações e relacionamentos de forma a permitir a produção de mapas de aptidão às fundações; analisar como a modelagem conceitual de dados geotécnicos pode colaborar na padronização, armazenamento e disseminação de dados geotécnicos. Desta forma, aliaram-se duas teorias, o mapeamento geotécnico, junto da modelagem conceitual de dados, sendo que a primeira se deu por um desenho de pesquisa sistemática que buscou aumentar a capacidade de representação semântica do espaço, onde se estabeleceram os objetos através da segunda teoria. O recorte observacional se deu sobre as metodologias de mapeamento geotécnico utilizadas em áreas do sul do país, dados relativos às sondagens SPT, fundações existentes e seus consequentes mapas de aptidão às fundações. As informações disponíveis na documentação foram primeiramente inventariadas e organizadas em classes, atributos e domínios. O modelo OMT-G foi utilizado para modelar conceitualmente os dados e relacionar as diferentes classes através de diagramas de classes e transformações. Estabeleceram-se classes, padrões de relacionamento e transformações de forma a produzir os resultados, ou seja, sete classes primárias e 13 diagramas de classes e/ou transformações, sendo que sete diagramas foram esquemas conceituais produzidos para dar suporte aos mapeamentos temáticos relativos à superfície do impenetrável, à superfície do lençol freático, à tensão admissível, à orientação ao tipo de fundação, ao N_{SPT} , aos tipos de solo e, fundações existentes. Ainda foram produzidos três dicionários de dados e dois dicionários de domínios. Ao analisar os resultados foi possível perceber que o mapeamento geotécnico poderia ser observado sob outras óticas, não apenas em seu universo lógico e físico, ou mesmo, como apresentação de mapas construídos a partir de dados já existentes, mas sim, a partir de seus dados primordiais e os produtos derivados de relacionamentos e operações distintas que podem ser realizadas dentro de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). No contexto público, os resultados servem como definição de padrões, principalmente sobre dados de entrada, os quais permitirão prefeituras e órgãos públicos iniciarem seus processos de abstração do mundo real para compor análises relacionáveis às multifinalidades de seus cadastros. Ainda, os produtos resultantes podem servir como manuais e/ou glossários para empresas privadas que desejam implementar os Banco de Dados Geográficos (BDG) para otimizar suas análises territoriais. A modelagem conceitual realizada foi considerada de aplicação universal pois permite que novos documentos e mapeamentos se integrem e se adequem aos padrões estabelecidos, independentemente, de *hardware* ou *software*.

Palavras-chave: Mapeamento Geotécnico; Aptidão às Fundações; Sondagem SPT; Modelagem Conceitual de Dados; OMT-G.

ABSTRACT

Geotechnical databases support the production of geotechnical maps of aptitude for foundations, as they have parameters and important documents to carry out the mappings. However, weaknesses are perceived in relation to the collection and storage of the data necessary to structure these banks. As a gap in this research, the lack of standardization in the stages of filling in these data results in the impossibility of integration between data, documents and geotechnical maps, resulting in interoperability errors, redundancy and impossibility of relating to other cartographic bases. Given the above, this work aims to conceptually model geotechnical data, providing a way to structure and make them available, in order to support the production of maps of suitability for foundations. Specifically, the objectives are to define the observational scenario, understanding how geotechnical data are obtained and how they can be transformed and conceptually represented in a database; determine the flow of information and its possible interactions and relationships in order to allow the production of maps of suitability for foundations; to analyze how the conceptual modeling of geotechnical data can collaborate in the standardization, storage and dissemination of geotechnical data. In this way, two theories were combined, geotechnical mapping, along with conceptual data modeling, the first being a systematic research design that sought to increase the capacity of semantic representation of space, where objects were established through second theory. The observational clipping took place on the geotechnical mapping methodologies used in areas of the south of the country, data related to the SPT soundings, existing foundations and their consequent maps of aptitude for foundations. The information available in the documentation was first inventoried and organized into classes, attributes and domains. The OMT-G model was used to conceptually model the data and relate the different classes through class diagrams and transformations. Classes, relationship patterns and transformations were established in order to produce the results, that is, seven primary classes and 13 diagrams of classes and/or transformations, with seven diagrams being conceptual schemes produced to support the thematic mappings related to the surface from the impenetrable, to the water table surface, to the permissible stress, to the orientation to the type of foundation, to the NSPT, to the types of soil and, existing foundations. Three data dictionaries and two domain dictionaries were also produced. When analyzing the results, it was possible to perceive that geotechnical mapping could be observed from other perspectives, not only in its logical and physical universe, or even as a presentation of maps built from existing data, but from their data. and the products derived from distinct relationships and operations that can be performed within Geographic Information System (GIS). In the public context, the results serve as a definition of standards, mainly on input data, which will allow city halls and public agencies to start their processes of abstraction from the real world to compose analyzes related to the multipurposes of their records. Furthermore, the resulting products can serve as manuals and/or glossaries for private companies that wish to implement Geographical Databases (BDG) to optimize their territorial analysis. The conceptual modeling performed was considered of universal application as it allows new documents and mappings to be integrated and adapted to established standards, regardless of hardware or software.

Keywords: Geotechnical Mapping; Aptitude for Foundations; Standard Penetration Test; Conceptual Data Modeling; OMT-G.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de um projeto de Banco de Dados Geográfico.....	34
Figura 2 - Evolução histórica dos modelos conceituais para SIG	36
Figura 3 - Processo de modelagem conceitual de banco de dados.....	36
Figura 4 - Requisitos da modelagem conceitual para um SIG	38
Figura 5 - Modelos conceituais de banco de dados e seus autores.....	39
Figura 6 - Distinção dos dois tipos de classes existentes	42
Figura 7 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G.....	43
Figura 8 - Notação gráfica para as classes de geocampos.....	43
Figura 9 - Notação gráfica das classes de geo-objetos	45
Figura 10 - Notação gráfica dos relacionamentos	47
Figura 11 - Notação gráfica de cardinalidade.....	48
Figura 12 - Notação gráfica de agregação	49
Figura 13 - Classificação pedológica dos perfis de solo	60
Figura 14 - Regiões mapeadas geotecnicamente pelo mundo	74
Figura 15 - Regiões mapeadas geotecnicamente pelo Brasil	75
Figura 16 - Esquema metodológico para nomeação da unidade geotécnicas - Davison Dias..	78
Figura 17 - Esquema metodológico para definição das unidades geotécnicas.....	80
Figura 18 - Análise geoestatística a partir de pontos SPT	83
Figura 19 - Linha histórica da produção científica dos mapeamentos geotécnicos	85
Figura 20 - Esquema de apresentação dos laudos SPT	87
Figura 21 - Esquema metodológico para definição das cartas de aptidão às fundações	89
Figura 22 - Quadro teórico/analítico da pesquisa.....	93
Figura 23 - Esquema metodológico síntese sobre o recorte observacional.....	97
Figura 24 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do impenetrável à percussão.....	98
Figura 25 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do nível do lençol freático	99
Figura 26 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do tipo de solo.....	100
Figura 27 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos dos valores de N_{SPT}	101

Figura 28 - Esquema básico do universo real a ser modelado e transformado em esquemas conceituais	102
Figura 29 - Interface do <i>software Microsoft Visio</i> com o <i>Stencil OMT-G</i>	107
Figura 30 - Diagrama de classes para produção do mapa geotécnico	115
Figura 31 - Diagrama de transformação das classes “GEOLOGIA” e “PEDOLOGIA”	116
Figura 32 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa geotécnico	116
Figura 33 - Transformação da classe “MDT” em “DECLIVIDADE”	116
Figura 34 - Relacionamento entre a classe “SONDAGEM_SPT” e “PROF_Xn”	117
Figura 35 - Diagrama de classes e transformação para produção da superfície freática.....	117
Figura 36 - Diagrama de transformação para produção da superfície do impenetrável à percussão	118
Figura 37 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa de tipo de solo ...	118
Figura 38 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa de N_{SPT}	119
Figura 39 - Diagrama de classes de transformação para produção do mapa de orientação às fundações superficiais.....	119
Figura 40 - Diagrama de classes e transformação para produção dos mapas de tensões admissíveis.....	120
Figura 41 - Diagrama de classes e transformação para produção das cartas de profundidade de estacas.....	120
Figura 42 - Diagrama de classe e transformação para consecução do mapa de fundações existentes	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características de cada subclasse dos geocampos.....	44
Quadro 2 - Características de cada subclasse dos geo-objetos.....	45
Quadro 3 - Temas, objetos modelados em OMT-G e autores.....	52
Quadro 4 - Características dos horizontes do solo	60
Quadro 5 - Definição dos níveis hierárquicos pelo SiBCS	62
Quadro 6 - Definição das Ordens, etimologia e termos conotativos.....	62
Quadro 7 - Classificação acerca das classes segundo a SiBCS 1999-2006.....	63
Quadro 8 - Principais metodologias internacionais de mapeamento geotécnico	69
Quadro 9 - Autores brasileiros que mais publicaram sobre mapeamento geotécnico.....	75
Quadro 10 - Nomenclatura da classe pedológica	79
Quadro 11 - Nomenclatura da classe geológica	79
Quadro 12 - Temáticas mais abordadas nos mapeamentos geotécnicos (método de Davison Dias).....	81
Quadro 13 - Valores limites de NSPT para a parada das estacas	92
Quadro 14 - Síntese de trabalhos definidos no recorte observacional.....	95
Quadro 15 - Classes georreferenciadas e convencionais produzidas	108
Quadro 16 - Dicionário de Dados da classe “SONDAGEM_SPT”	109
Quadro 17 - Metadados da classe “SONDAGEM_SPT”	110
Quadro 18 - Dicionário de Dados da classe “PROF_Xn”	111
Quadro 19 - Dicionário de Domínios do atributo “TIPO_SOLO”.....	111
Quadro 20 - Dicionário de Dados da classe “FUNDACAO_EXISTENTE”	112
Quadro 21 - Dicionário de Domínios do atributo “TIPO_FUNDACAO”	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANA – Agência Nacional de Águas
- APP – Área de Preservação Permanente
- ASTM – *American Society for Testing and Materials*
- BD – Banco de Dados
- BDG – Banco de Dados Geográficos
- BHST – *Bore Hole Shear Test*
- CGBE – Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia
- CGRS – Central de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
- CGTEletrosul – Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia
- CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
- CPTu – *Piezcone Penetration Test*
- CTM – Cadastro Técnico Multifinalitário
- DEGE – Diretoria de Geografia, Cartografia e Estatística
- DEM – *Digital Elevation Model*
- DPL – *Dynamic Probing Light* (Penetrômetro Dinâmico Leve)
- EDGV – Estrutura de Dados Geográficos Vetoriais
- EESC – Escola de Engenharia de São Carlos
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ER – Entidade Relacionamento
- ECS - *European Comite for Standardization*
- ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
- GASP – *Geotechnical Area Studies Programme*
- IAEG – *International Association of Engineering*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBPLAN – Instituto Brusquense de Planejamento
- IDE – Infraestrutura de Dados Espaciais

INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

kgf – Kilograma Força

kN – Kilo Newton

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MCT – Miniatura Compactado Tropical

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional

MDT – Modelo Digital de Terreno

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileiro Regulamentadora

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NDWI – *Normalizes Difference Water Index*

N_{SPT} – Índice de Resistência à Penetração do Solo

OMT – *Object Modeling Technique*

OMT-G – *Object Modeling Technique - Geographic*

OO – Orientado a Objeto

PMB – Prefeitura Municipal de Brusque

PRODABEL – Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte

PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

RGB – *Red / Blue and Green*

SAVI – *Soil Ajusted Vegetation Index*

SDA – Secretaria do Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura

SDE/SC – Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico e Integração do Mercosul

SGB – Serviço Geológico Brasileiro

SGBD – Sistema Gerenciados de Banco de Dados

SGC – Sistema de Gerenciamento Costeiro

SHALSTAB – *Shallow Slop Stability Model*

SHP – *Shapefile*

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPT – *Standard Penetration Test*

tf – Tonelada Força

TIN – *Triangular Irregular Network*

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UDESC – Universidade Estadual de Santa Catarina

UEMG – Universidade Estadual de Minas Gerais

UFLA – Universidade Federal de Lavras

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UML – *Unified Modeling Language*

UnB – Universidade de Brasília

UNESP – Universidade Estadual Paulista

UNL – Universidade Nova de Lisboa

USP – Universidade de São Paulo

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

w – Umidade do solo

ZERMOS – Zonas Expostas a Movimentos de Solo

γ_d – Peso específico aparentemente seco

σ – Tensão do contato solo-sapata

σ_a – Tensão admissível do solo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	28
1.2 OBJETIVOS	29
1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	29
2 REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	31
2.1.1 Modelagem Conceitual de Dados	35
2.1.1.1 <i>O modelo OMT-G: Estado da Arte</i>	49
2.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	58
2.2.1 Classificação dos Solos	59
2.2.2 O Mapeamento Geotécnico	66
2.2.1.1 <i>Panorama da produção internacional relativa ao mapeamento geotécnico no novo milênio</i>	73
2.2.1.2 <i>Panorama da produção nacional relativa ao mapeamento geotécnico no novo milênio</i> 75	
2.2.3 A Metodologia de Davison Dias (1995)	78
2.2.3.1 <i>A Metodologia de Davison Dias: Estado da Arte</i>	80
2.2.4 Cartas de Aptidão às Fundações	85
3 MATERIAIS E MÉTODOS	93
3.1 DEFINIÇÃO DO RECORTE OBSERVACIONAL.....	94
3.2 PRODUÇÃO DE CLASSES, ATRIBUTOS E DOMÍNIOS DOS ATRIBUTOS.....	101
3.2.1 Definição de classes	103
3.2.2 Definição dos atributos das classes	103
3.2.3 Definição dos domínios dos atributos	105
3.3 PRODUÇÃO DOS DIAGRAMAS DE CLASSES E TRANSFORMAÇÃO	106
4 RESULTADOS	108
5 ANÁLISES DOS RESULTADOS	122
5.1 ANÁLISES DAS CLASSES PRIMORDIAIS PRODUZIDAS	122
5.2 ANÁLISES DOS DICIONÁRIO DE DADOS E DOMÍNIOS PRODUZIDOS	124
5.3 ANÁLISES DOS DIAGRAMAS DE CLASSES E TRANSFORMAÇÃO PRODUZIDOS 128	
6 CONCLUSÕES	140
6.2 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS.....	140
6.3 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS.....	143

6.4	CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS.....	144
6.5	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS.....	145
	REFERÊNCIAS	147

1 INTRODUÇÃO

Esta é uma dissertação em Gestão Territorial, o que conduz a localizar neste campo de conhecimento a principal temática do trabalho: a gestão de dados relativos ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações. Neste sentido, é fátuo que, para trabalhos que integram a tríade entre dados, informações e conhecimentos, a gestão do fluxo de trabalho relacionado ao objetivo proposto, precisa ser considerada.

Ao se tratar da linha de chegada à área da gestão da informação, o conhecimento no contexto desta pesquisa são produtos das análises, reflexões e contextualizações realizadas por meio das múltiplas fontes de informações contidas nos mapas geotécnicos, de acordo com a percepção e experiência do intérprete para algum fim, como por exemplo, gerar novas ideias, resolver problemas territoriais ou tomar decisões (DAVENPORT, 2002; PEREIRA, 2003).

O corpo de conhecimento é baseado nas informações, e, além dos dados, a informação exige análise e consenso em relação ao significado, ou seja, contém necessariamente a semântica. A informação deve informar, enquanto os dados diretamente não têm esta função. A informação deve ter limites, enquanto os dados podem ser ilimitados (MCGEE; PRUSAK, 1994). Os dados são observações de fatos sob a forma bruta, que por si só não permitem que se obtenha a compreensão do fato (ABREU, 1999; DAVENPORT, 2002).

Por este ângulo, devido à grande quantidade de dados oriundos das transformações territoriais, especificamente no contexto geológico-geotécnico, a gestão da tríade dados, informação e conhecimento é caracterizada por sua capacidade de transformação. O acréscimo de significado e contexto para um dado, através do processamento e análise, gera informação, que comunicada, interpretada e aplicada para uma determinada finalidade, resulta na construção do conhecimento. Conhecimento este que, nesta dissertação, é resultado das análises de diversos objetos geográficos do mundo real.

O fato gerador, e que está associado ao aumento significativo de dados, permeia-se pelo acelerado e desordenado crescimento populacional do território, impactando diretamente os sistemas ambientais e físicos das cidades, desde as primeiras décadas do século passado (XAVIER; BRESSANI, 2019). Esta situação resulta em alterações e impactos como desmatamentos, disposição inadequada de resíduos sólidos, inundações, ausência no tratamento de efluentes e movimentos de massa (RUIZ JUNIOR; OLIVEIRA, 2013).

A partir desta dinâmica espacial característica, surge a necessidade de investigar e cartografar o meio físico em seu contexto geológico-geotécnico (XAVIER; BRESSANI, 2019). Para fins de uso e ocupação do solo as investigações prévias garantem ao planejador territorial

um maior grau de confiabilidade em seus projetos (MASOUD, 2016), e aos gestores territoriais, um maior domínio e reconhecimento do território (EL AAL; MASOUD, 2018).

Na conjuntura das aplicações práticas deste tipo de cartografia, Andrade e Quinta-Ferreira (2017) afirmam que o mapeamento geotécnico se aplica em projetos de ordenamento e planejamento territorial, obras de grande e pequeno porte, sendo elas lineares ou pontuais, aplicações em análises de estabilidade de taludes, acerca dos desastres naturais e áreas de risco. Este documento cartográfico é um importante instrumento na gestão urbana, comportamento dos solos, recursos geológicos, avaliações de patrimônio e riscos geográficos com a finalidade de planejar o território (CHAMINÉ *et al.* 2016).

Nas entrelinhas do mapeamento geotécnico, ramificam-se diversas tipologias de mapas com diferentes finalidades, pois a partir do momento em que o mapa geotécnico é estabelecido, é possível incorporar dados complementares e/ou aplicar modelos e *softwares* específicos com o intuito de corporificar análises e trazer à luz informações relevantes para a gestão territorial. Uma destas ramificações é caracterizada pelas cartas de aptidão às fundações.

A primeira motivação para o desenvolvimento desta dissertação é alavancar o conhecimento sobre mapeamento geotécnico, especificamente relacionado à aptidão às fundações. Esta temática dentro da cartografia geotécnica possibilita utilizar dados oriundos do subsolo para indicar preliminarmente as tipologias de fundações para novas obras (PIMENTEL; MOURA; CARNEIRO, 2020), bem como fornecer subsídios para análises referente ao nível d'água, impenetrável à percussão, tensões admissíveis, valores de N_{SPT} , tipos de solo e demais informações que tangenciam as aptidões das infraestruturas pontuais (SANTOS; THIESEN; HIGASHI, 2018).

Outrora, por se caracterizarem como uma das multifinalidades dos mapeamentos geotécnicos, os mapas de aptidão às fundações ainda se encontram com fragilidades nas questões relacionadas à coleta e armazenamento, ou seja, como os dados deveriam ser retirados do campo, de que forma deveriam ser apresentados pelas empresas públicas ou privadas e principalmente, como a partir deles, deverá ser desenhado e delineado o banco de dados que permitirá gerar as análises.

Por se tratar da alta variabilidade, tanto horizontal quanto vertical dos dados geotécnicos, Priya e Dodagoudar (2018) salientam a importância de construir modelos relacionados de forma a garantir suas integridades e contribuir, de fato, para um otimizado processo de produção de conhecimento. Estes autores reiteram que trabalhos de padronização dos dados geotécnicos estão sendo realizados por várias partes do mundo desde os anos 2000.

Entretanto, poucos autores abordam modelos que desenvolvam aplicações específicas

relativas à cartografia geotécnica (RIBEIRO; SILVA; BARROSO, 2016, AMORIM; MOURA; GUSMÃO; ALVES, 2016; MOURA; GUSMÃO; ALVES, 2017; SANTOS; THIESSEN; HIGASHI, 2018; PRIYA; DODAGOUDAR, 2018; OLIVEIRA; SOUZA; SILVA; JÚNIOR, 2021) as quais armazenem dados do subsolo para posteriores relacionamentos, transformações e análises das aptidões às fundações.

Diante das análises desta pequena amostra de trabalhos, constituída ainda pela produção científica nacional, como de Leite (2015), Moreira *et al.* (2017), Lupatini *et al.* (2018), Borges (2019), Sousa (2019), Michels (2020), Pimentel *et al.* (2020), e outros, a produção científica vem se conduzindo em informatizar a compilação destes dados, além de criar meios para que sejam acessados de forma organizada e otimizada.

A partir disso, o processo de escavar furos para coletar e analisar amostras de solo, definindo suas propriedades geotécnicas, físicas e químicas, necessárias para a construção do conhecimento acerca da área de estudo, começou a ter grande necessidade. Ademais, é necessário salientar que estes processos levam tempo e precisam de certos cuidados para que a qualidade dos dados seja mantida.

Para a consecução destes produtos cartográficos, haja vista a grande demanda de dados geográficos contidos dentro de cada metodologia, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são poderosas ferramentas para inclusão das características do solo, podendo este ser produtos de diferentes fontes, sejam qualitativos ou quantitativos, e seus resultados apresentados por meio de mapas, relatórios, gráficos, tabelas, entre outros (AL-MAMOORI, 2017). Estes sistemas objetivam armazenar, analisar e atualizar os dados geotécnicos de uma área, tornando-se propulsores na construção de mapas, gráficos e diversos outros produtos que auxiliarão nas tomadas de decisão, de forma a acelerar algumas fases de projeto, considerando seu importante interesse científico, técnico e econômico (DEBICHE *et al.* 2018).

Os bancos de dados geográficos permitem que os objetos (características do solo, furos de sondagem, hidrografia, geologia, pedologia, etc.) sejam espacializados, relacionados e apresentados em mapas finais (AL-MAMOORI, 2017). Estes bancos podem ser facilmente e consecutivamente alimentados, tornando-os cada vez mais eficazes e precisos nas estimativas das modelagens dos parâmetros dos solos no território, otimizando o gerenciamento das áreas de estudo, de maneira mais precisa e econômica (MASOUD, 2016). Em especial, as informações da área das geociências.

Apesar do extenso uso de SIG por várias instituições públicas e privadas que manipulam informações geológicas e geotécnicas, os dados ainda se encontram armazenados de forma dispersa, sem padronização e sem uma estruturação concreta (CIPULLO; ROIG,

2013; BOZIO; JACINTO, 2020; BOZIO; JACINTO; REGINATO; HIGASHI, 2022). Ademais, as universidades são as maiores produtoras de dados relacionados ao mapeamento geotécnico (BOZIO *et al.*, 2020) e estes, igualmente, encontram-se desorganizados e dispersos sob posse de seus autores.

Diante do trabalho de Cipullo e Roig (2013), o qual objetivou a estruturação de um modelo conceitual aplicado ao mapeamento geológico, os autores observam a existência de poucas pesquisas acadêmicas correlatas, indicando a necessidade de mais investimentos no que diz respeito à infraestrutura computacional da universidade a fim de comportar sistemas que exigem processamento e armazenamento centralizado como o proposto por eles.

Neste sentido, a falta de padronização acerca das representações do mundo real no que tange ao mapeamento geotécnico pode ser verificado em trabalhos como de Cipullo e Roig (2013), Amorim *et al.* (2016), Melo e Kobiyama (2018), Xavier e Brassani (2019), Bozio e Jacinto (2020), e pelas revisões integrativas feitas por esta dissertação. São incipientes os trabalhos que delimitam um método de mapeamento geotécnico, de forma a delinear um fluxo claro das etapas de trabalho no desenvolvimento das cartas de aptidão às fundações. A apresentação dos produtos cartográficos gerados não segue um modelo previamente estabelecido (padrão cartográfico). É razoável apontar a necessidade de uma estruturação de banco de dados, haja vista que os trabalhos de cartografia geotécnica dependem diretamente deles.

As análises espaciais oriundas dos mapeamentos geotécnicos e suas ramificações são realizadas a partir de um SIG, e este deverá ser capaz de coletar, armazenar, recuperar dados e oferecer mecanismos para combinar diversas informações, por meio de algoritmos (BURROUGH; MCDONNEL, 1998), além de armazenar atributos alfanuméricos e geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos (QUEIROZ; FERREIRA, 2006). Portanto, para a criação de um SIG é importante a etapa de modelagem conceitual desses dados, que consiste na abstração de objetos e fenômenos do mundo real, e que possam ser representados adequadamente em um sistema informatizado (AMORIM *et al.* 2016).

É necessário que entidades e órgãos públicos e privados desenvolvam estratégias de coleta, armazenamento e sistematização dos dados geotécnicos em seus territórios. Ademais, há a necessidade de novos estudos que otimizem os processos de mapeamento geotécnico, afirmações estas encontradas em Xavier e Bressani (2019), trazendo respaldo científico aos objetivos desta pesquisa.

Ao longo do caminho da produção científica relacionado à cartografia geotécnica, é possível sintetizar que, a princípio, as pesquisas objetivavam a transformação de dados

analógicos para o meio digital e sua integração em ambiente SIG. A partir de então, os pesquisadores começaram a construir bancos de dados das informações geotécnicas, como subsídio às áreas de ocupação, análise da aptidão à urbanização, ou mesmo, para controle e armazenamento para futuras construções nas cidades.

Diante da criação destes bancos de dados por ora desenvolvidos e estruturados, os esforços começaram a se basear em análises a partir do banco de dados, e não com o objetivo geral de criá-los. Começou-se, portanto, a compreender por meio da inserção de dados específicos, os deslizamentos de terra, a aptidão às fundações, erodibilidade dos solos, colapsibilidade de solos, resistividade do solo, e estimativas de recalques, utilizando *softwares* específicos e modelagens matemáticas que precisariam ser alimentados por meio destes dados.

A construção de um esquema conceitual é parte fundamental no processo de desenvolvimento destes sistemas de informação, visto que, durante a modelagem, é preciso abstrair os objetos do mundo real que de alguma forma interfiram no SIG (DAVIS JR.; LAENDER, 2000). De acordo com a literatura, a modelagem conceitual de dados garante a homogeneização de dados espaciais e atende aos requisitos de clareza e facilidade, podendo ser utilizada para descrever os esquemas conceituais de um banco de dados geotécnicos. Apesar da dificuldade em abstrair a realidade e moldá-la em conceitos geométricos, o alto nível de abstração das entidades geográficas garantem uma maior facilidade de implementação dos SIG.

A modelagem do banco de dados contribui, ainda, na descrição padronizada do seu conteúdo, sendo útil aos usuários, de forma a auxiliá-los na utilização destes dados geográficos. Além disso, traz benefícios à instituição detentora dos dados, acarretando em uma maior confiabilidade temporal, independentemente se seu produtor está ainda ou não ligado à instituição, permitindo suas reutilizações no futuro, em outras etapas do mesmo trabalho ou em etapas posteriores contempladas dentro da mesma área de estudo.

Diante de uma estrutura organizada e padronizada, as inserções consecutivas destes dados podem transformá-los em importantes informações na medida em que as cartas de aptidão às fundações poderão ser alimentadas através da colaboração dos diversos atores da sociedade. Construtores, mercado imobiliário, engenheiros e empresas de sondagens poderão inserir dados relativos às cartas de aptidão a fundação de maneira que suas investigações possam ser otimizadas.

Neste íterim, a utilização de relatórios de sondagens geotécnicas provenientes de empresas públicas e/ou privadas, representadas dentro de um banco de dados, resultará em uma diminuição de ensaios a serem executados em futuras obras e, conseqüentemente, na diminuição dos custos envolvidos (MARTÍNEZ-GRAÑA *et al.* 2013). Ainda, a inclusão de

resultados proveniente de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) são ótimas alternativas para caracterizar os diferentes tipos de solos existentes nas áreas de estudo, principalmente no contexto do planejamento urbano (XAVIER; BRESSANI, 2019).

Grandes quantidades de dados geotécnicos oriundos de investigações destinadas aos projetos que levam em consideração o ambiente físico de implantação estão armazenadas apenas em relatórios técnicos de empresas públicas e/ou privadas (GUILHERME *et al.* 2020). Levando em consideração esta afirmação, as informações oriundas das investigações geotécnicas são compostas por grandes quantidades de dados, e, portanto, solicitam uma organização coerente, servindo secundariamente para a elaboração dos mapeamentos e modelagens (RIBEIRO; SILVA; BARROSO, 2018).

Trabalhos como de Cipullo e Roig (2013), Amorim *et al.* (2016), Moura *et al.* (2017) e Oliveira *et al.* (2021) deram os primeiros sinais em modelos de bancos de dados relacionados às áreas das geociências, principalmente correlatas à geologia, ensaios geotécnicos e fundações existentes, por meio da modelagem de dados geográficos, especificamente pelo *Object Modelling Technique – Geographic* (OMT-G). Embora um grande avanço no campo tenha sido realizado por estes autores, Xavier e Bressani (2019) reiteram a necessidade da estruturação de novas alternativas que abarquem a otimização na coleta, armazenamento e disseminação dos dados geotécnicos relacionado ao mapeamento.

Juntos, esses trabalhos dão pistas sobre o desenvolvimento da estruturação dos bancos de dados geocientíficos que subsidiem os processos de mapeamento geotécnico de aptidão às fundações, tema explorado por esta dissertação por meio de técnicas de modelagem de dados.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Desta forma, a partir da contextualização por ora desenhada, propõe-se o seguinte problema de pesquisa: como delinear um fluxo de trabalho aplicado ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações, de maneira a padronizar a coleta, armazenamento, integração e disseminação destes dados?

Com base no exposto, o estudo se baseou em como as técnicas de modelagem de dados, mais precisamente em seu universo conceitual, podem auxiliar na organização, coleta, armazenamento e disseminação dos dados necessários para a construção dos mapeamentos geotécnicos. Diante desta decisão, surge a suposição de que, através da utilização dos produtos resultantes do processo de modelagem, deve existir uma facilitação e padronização em todas as etapas de trabalho para a consecução dos mapas geotécnicos de aptidão às fundações.

Para reforçar estas afirmações, a tese de doutorado de Soares (2011) começa a abarcar conceitos de modelagem de banco de dados geotécnicos, seguindo o modelo Entidade-Relacionamento organizando toda esta quantidade de dados oriundos do subsolo. Atualmente, pesquisas como de Nascimento e Lários (2020) trabalham estes laudos geoespacializados dentro de *softwares* capazes de subsidiar análises pontuais sobre as camadas do solo acerca do N_{SPT} .

Diante desta fronteira do conhecimento, estes trabalhos justificam e corroboram com a suposição desta dissertação, de que, ao organizar de maneira sistematizada as representações dos objetos geográficos necessários para a consecução de metodologias de mapeamento geotécnico, juntamente com seus relacionamentos e operações de análise correlatos ao universo geotécnico, a informatização do armazenamento e disseminação dos mesmos se dará de maneira promissora, fazendo com que este campo avance.

Por fim, salienta-se que a informação geográfica que suporta a elaboração dos mapas geotécnicos de aptidão às fundações pode ser mais rica do que a informação cartográfica, ou seja, trabalhos que repliquem digitalmente mapas básicos já existentes. Ressalta-se que este trabalho não objetiva realizar mapeamentos de aptidão às fundações, em áreas de estudos pré-estabelecidas, mas alcançar o cerne das metodologias no tocante a seus dados e representações conceituais, relacionamentos, cardinalidades e operações de análises espaciais necessárias para a geração de novas informações geográficas de qualidade.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo precípuo deste estudo é modelar conceitualmente dados geotécnicos, fornecendo um caminho para a estruturação e disponibilização destes, de forma a suportar a produção de mapas de aptidão às fundações. Especificamente os objetivos são:

- a) Definir o cenário observacional compreendendo como os dados geotécnicos são obtidos e como podem ser transformados e representados conceitualmente em banco de dados;
- b) Determinar o fluxo de informações e suas possíveis interações e relacionamentos de forma a permitir a produção de mapas de aptidão às fundações;
- c) Analisar como a modelagem conceitual de dados geotécnicos pode colaborar na padronização, armazenamento e disseminação de dados geotécnicos.

1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A presente dissertação, além da introdução exposta no Capítulo 1, que descreveu o problema e os objetivos da pesquisa está estruturada em capítulos. A apresentação do referencial teórico é realizada no Capítulo 2, sintetizando as principais definições, teorias, conceitos e estado da arte relacionados aos temas centrais da pesquisa. O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos, incluindo o recorte observacional e sua delimitação, bem como o percurso metodológico realizado com as linhas e técnicas de trabalho adotadas para a consecução dos objetivos propostos. A exposição de resultados produzidos é realizada no Capítulo 4, as análises acerca dos mesmos são descritas no Capítulo 5. O Capítulo 6 finaliza o trabalho descrevendo as conclusões, contribuições, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico descrito a seguir especifica termos, conceitos e diálogos dos principais itens abordados na pesquisa e que constituem o objetivo geral deste trabalho, ou seja, a produção técnico-científica e o estudo da arte das áreas de modelagem de dados geográficos e mapeamento geotécnico.

2.1 MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS GEOGRÁFICOS

Ao definir a modelagem de dados geográficos, é necessário, primeiro, definir a acepção do termo modelo. Modelo significa a abstração de um sistema real, podendo-se explicar, testar e analisar o seu comportamento, em uma parte do sistema, ou em seu todo (COUGO, 1997). Pode-se verificar a existência de diversos tipos de modelos, nas mais variadas áreas, tais como o manequim na vitrine, fotografias, protótipos de construções sendo utilizados em testes de aerodinâmica, plantas arquitetônicas e moldes de roupas, entre outros. O que deve ser notado é que, a partir de um meio, podem-se antecipar análises, substituindo sua existência, segundo o autor.

No cenário de investigação do presente projeto, um modelo de dados é um conjunto de construtos utilizados para descrever e representar elementos do mundo real em um sistema digital de computador, justificando sua importância pelo controle da forma com que os dados são armazenados, tendo um impacto significativo nos tipos de operações analíticas que podem ser realizadas (LONGLEY *et al.* 2013). No contexto de banco de dados, os modelos de dados são definidos como um conjunto de elementos que podem ser usados para o entendimento de sua estrutura (ELMASRI, 2005). Portanto, um modelo de dados tem por objetivo apresentar um significado capaz de permitir a representação de um dado que descreve um fenômeno em um ambiente digital (COUTO *et al.* 2017).

Para a construção de um modelo, nesta perspectiva, é preciso percorrer o processo de modelagem de dados geográficos. Este procedimento define-se como a abstração do mundo físico, limitando-se a elementos essenciais que devem ser modelados, descartando os elementos não essenciais do ambiente geográfico (LISBOA FILHO *et al.* 2000). A abstração objetiva o entendimento do sistema por meio da separação de seus componentes, cada qual com seu nível de complexidade e detalhamento, componentes estes estabelecidos de acordo com as necessidades de compreensão e representação (BORGES; DAVIS JÚNIOR; LAENDER, 2005).

Pelo fato de os objetos geográficos serem complexos na representação em ambiente informatizado, a abstração assume papel preponderante na representação destes objetos de forma conveniente e simplificada, permitindo a realização das análises requeridas (BORGES; DAVIS JÚNIOR, 2004). Os autores ainda afirmam que, no caso do modelo de dados geográficos, sua função está ligada à organização do entendimento acerca dos objetos e fenômenos representados em um ambiente informatizado, tornando-se uma atividade complexa, haja vista seu objetivo de discretizar o espaço, por meio da abstração, visando à obtenção de uma adequada representação dos fenômenos geográficos (BORGES; DAVIS JÚNIOR; LAENDER, 2005).

Dentro deste contexto geográfico, existem diversos níveis de abstração para que os elementos do mundo real, ou seja, os elementos da paisagem, possam ser identificados dentro de um SIG, quais sejam, nível do mundo real, nível de representação, nível de apresentação e nível de implementação (CÂMARA *et al.* 1996; BORGES, 2002).

O nível do mundo real diz respeito aos diversos fenômenos a serem representados geograficamente, como rios, casas, ruas, árvores, solos, entre outros. Já o nível de representação discrimina os conceitos formais pela qual as entidades geográficas podem ser modeladas, pela ótica do usuário, no mais alto nível de abstração. No nível de representação, são associados campos, objetos e classes de representação. Por fim, chega-se ao nível de implementação, cuja finalidade é definir a forma de armazenamento e a estrutura dos dados em um sistema computacional (CÂMARA *et al.* 1996; BORGES, 2002; BORGES; DAVIS JÚNIOR; LAENDER, 2005; SANTOS; ALMEIDA; RAMOS, 2007).

Em banco de dados, existem três diferentes níveis de modelagem: a conceitual, a lógica e a física. Entre estas, a modelagem conceitual diferencia-se por seu alto nível de abstração da realidade, sendo que a lógica e a física se aproximam mais de sua implementação, trazendo a forma de armazenamento e implicando diretamente no *software* que está sendo modelado (ELMASRI; NAVATHE, 2000).

A primeira etapa de modelagem consiste na análise de requisitos. Esta fase é extremamente importante, visto sua função de determinar exatamente a finalidade de uso de um banco de dados e igualmente o que precisa estar contido nele. Alguns objetivos são estabelecidos nesta fase, são eles: descrever as informações sobre elementos de dados e os relacionamentos entre eles, determinar os tipos de transações que devem ser realizadas, entre outros. Estas duas etapas normalmente são realizadas simultaneamente (TEOREY *et al.* 2014).

Por se tratar do nível mais alto de abstração, o modelo conceitual tem o objetivo de descrever os possíveis conteúdos dos dados, além das estruturas e regras a eles aplicáveis,

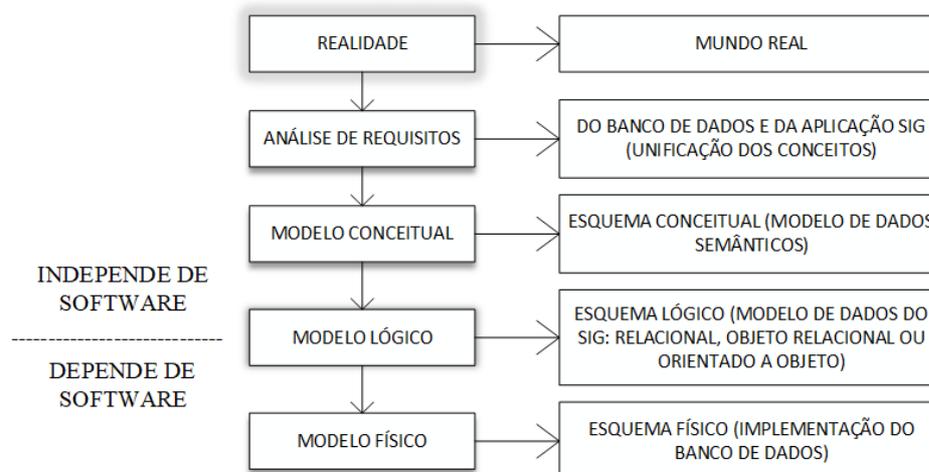
fornecendo uma base formal, seja ela notacional ou semântica, para as ferramentas e técnicas utilizadas no suporte da modelagem de dados (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999). O esquema conceitual é composto por um conjunto de diagramas, construídos a partir da linguagem de um determinado modelo conceitual, que expressam esquematicamente como os dados devem ser coletados, organizados e relacionados entre si, para atender a uma aplicação específica (QUEIROZ; FERREIRA, 2006).

No universo lógico, ou seja, na modelagem lógica, a construção do banco de dados está mais próxima das estruturas físicas de armazenamento, ou seja, esta etapa é responsável por transformar o esquema conceitual em um esquema de dados compatíveis com o tipo de modelo de Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) que será utilizado (relacional, orientado à objetos, objeto-relacional e outros). Nesta fase, é realizado o mapeamento dos conceitos de abstração, utilizados no esquema conceitual, em elementos de representação de dados do modelo escolhido (LISBOA FILHO *et al.* 2000; LAGO, 2006).

Na modelagem física, também chamada de projeto físico, são definidos aspectos de implementação física do Banco de Dados (BD) (tipos de dados, estruturas de armazenamento, caminhos de acesso, particionamento, agrupamento, etc.), levando em consideração o SGBD que está sendo utilizado, permitindo ao projetista, desta forma, planejar aspectos ligados à eficiência do mesmo (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

A modelagem dos bancos de dados deve ser realizada de acordo com a necessidade de entendimento de sua estrutura. Como supracitado, cada modelo contempla um nível de abstração, sendo assim, um banco de dados pode ser modelado por vários níveis de abstração (HEUSER, 2009; ELMASRI; NAVATHE, 2005). Nesta perspectiva, Lago (2006) exemplifica a relação entre os modelos, ilustrada pela Figura 1. Segundo o autor, um leigo que deseja realizar uma consulta em um banco de dados deverá ter seu modelo em um nível de maior abstração do que para um técnico que deseja aperfeiçoar as consultas em um banco de dados.

Figura 1 - Etapas de um projeto de Banco de Dados Geográfico



Fonte: Adaptado de Lago (2006).

Segundo Lisboa Filho (2001), o projeto de um banco de dados geográficos deverá ser pensado com base em um alto nível de abstração da realidade geográfica, portanto, um nível conceitual. O autor afirma que o modelo conceitual, relacionado aos projetos de banco de dados para diversas aplicações, tem sido utilizado com sucesso, já que independe de *hardware* e *software*.

Pode-se concluir, após a realização da revisão de literatura, que a modelagem conceitual engloba os níveis mais altos de abstração da realidade que deverá ser modelada. Assim, estudar a modelagem conceitual de maneira isolada e detalhada faz com que as etapas do projeto lógico e físico se tornem mais rápidas e sem futuros problemas. Pode-se neste nível de modelagem usufruir de uma linguagem mais próxima do usuário, sem a necessidade do uso de termos computacionais, de maneira que o modelo conceitual independa do *software* ao qual o sistema será implementado e, assim, o resultado final desta etapa manter-se-á válido caso ocorram mudanças de tecnologia (LISBOA FILHO *et al.* 2000).

Lisboa Filho *et al.* (2000) ainda complementam que a modelagem conceitual aumenta a capacidade do entendimento da semântica da informação, facilitando o uso correto da mesma. Os SIG englobam dados de diferentes fontes e, por este motivo, é necessário acordar métodos e padrões comuns de modelagem de dados geoespaciais, a fim de estabelecer um modelo conceitual de dados que será adotado como oficial (RYTTERSGAARD, 2002; CHOI, 2002). Principalmente em SIG, diversas metodologias consideram a etapa da modelagem conceitual importante, principalmente aquelas focadas na Orientação ao Objeto (OO) (BERTINI; NETO, 2004), por utilizarem entidades geográficas com relacionamentos diversos aos utilizados comumente nos dados relacionais advindos de tabelas (entidades semânticas).

Por fim, esta etapa de modelagem permanecerá imutável em relação às tecnologias de implementação do banco de dados, sendo, portanto, o grande diferencial na utilização de um modelo conceitual de dados (COUGO, 1997), onde sua importância reside no entendimento mútuo a respeito dos dados, que posteriormente estarão organizados dentro de um SGBD (AMORIM *et al.* 2016). Por meio deste mapeamento da teoria, é importante salientar que o foco deste trabalho está objetivado na construção do modelo conceitual, justificada por sua independência de *software*, bem como, seu alto nível de abstração da realidade.

Diante de tais argumentos, considerou-se contributivo focar no conteúdo de modelagem conceitual, motivo pelo qual, a partir de agora, os conhecimentos sobre essa etapa da modelagem geográfica são discutidos de forma mais aprofundada.

2.1.1 Modelagem Conceitual de Dados

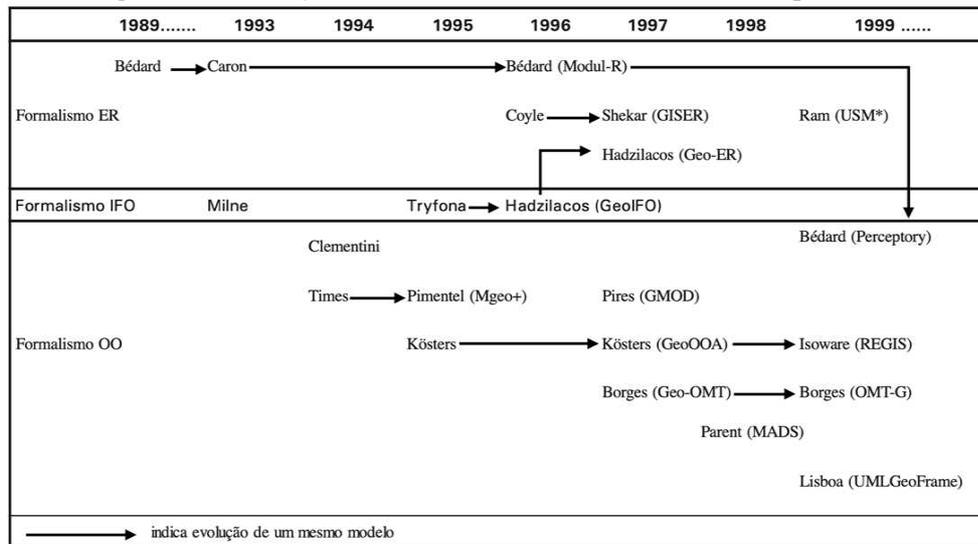
A modelagem conceitual de dados consiste na representação da realidade a ser modelada, representando os objetos, suas características, relacionamentos e atributos, com a representação fiel ao ambiente observado, sem que haja limitações acerca das tecnologias que serão utilizadas para sua implementação, ou dispositivos físicos (COUGO, 1997).

Esta fase é independente de aspectos tecnológicos e é a que representa os dados no mais alto nível de abstração, através de uma descrição diagramática (ABREU; MACHADO, 1999), abarcando e descrevendo o conteúdo dos dados, além das estruturas e regras a eles aplicáveis, fornecendo uma base formal, seja ela notacional ou semântica (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999). Para que a modelagem conceitual seja eficiente, ela necessita descrever adequadamente a realidade, descrevendo as informações de maneira clara e precisa, sem que haja ambiguidade nos aspectos que estarão sendo modelados (VILLELA; OLIVEIRA; BRAGA, 2004).

A literatura revela que os primeiros modelos de dados geográficos eram diretamente trabalhados dentro das estruturas de um SIG, forçando o usuário em adequar a realidade geográfica que estava sendo modelada às estruturas disponíveis de um SIG, ou seja, o processo de modelagem não oferecia mecanismos para que o usuário pudesse modelar a realidade de uma forma mais próxima ao seu modelo mental (BORGES; DAVIS JR.; LAENDER, 2005).

Os modelos conceituais de dados geográficos têm sido criados desde a década de 1980, mais precisamente em uma extensão apresentada e publicada por Bédard e Paquete (1989). A Figura 2 demonstra a evolução histórica dos modelos conceituais.

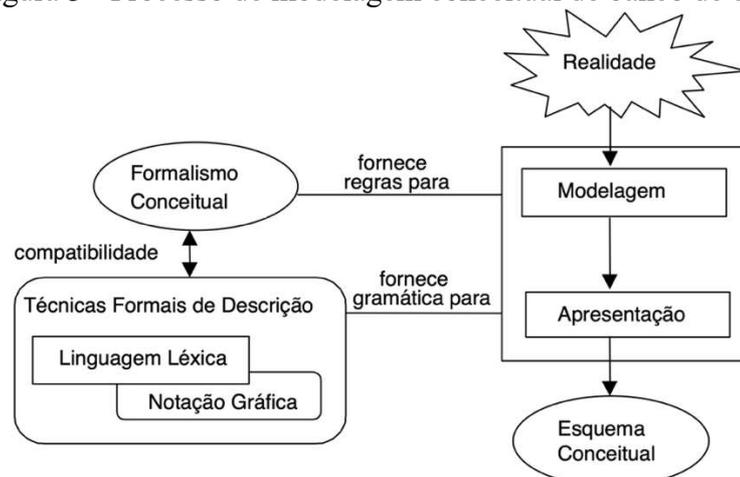
Figura 2 - Evolução histórica dos modelos conceituais para SIG



Fonte: Lisboa Filho e Iochpe (1999).

O processo de modelagem conceitual é sempre realizado com base em algum formalismo conceitual, como o Modelo Entidade Relacional (ER), ou entidade-relacionamento, e modelo OO (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999). O resultado do processo de modelagem conceitual é o esquema conceitual, representado através de uma linguagem formal de descrição, que possui uma sintaxe e/ou uma notação gráfica (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001). A Figura 3 descreve o processo da modelagem conceitual.

Figura 3 - Processo de modelagem conceitual de banco de dados



Fonte: Lisboa Filho (2000).

Para cada tipo de formalismo conceitual existe um conjunto de descrição do esquema compatível com o formalismo (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001), que fornecerá um conjunto

de regras para que o processo de modelagem da realidade aconteça, enquanto a linguagem de descrição fornece a gramática para a construção do esquema conceitual, resultado final da modelagem. A linguagem léxica é o meio em que o modelo conceitual se comunica com os meios computacionais, e por fim, a notação gráfica é o meio de conversação entre os humanos, como por exemplo, os usuários e projetistas (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

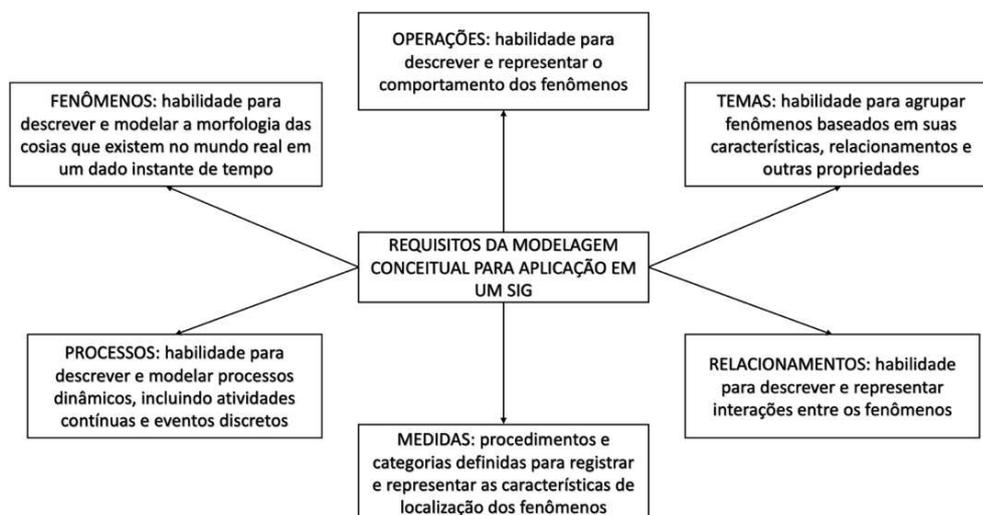
Com o advento de tecnologias de processamento eletrônico de dados cartográficos, possibilitando a representação e o armazenamento de uma grande quantidade e tipos de dados espaciais através de um ambiente computacional, ocorreu juntamente o desenvolvimento dos SIG, facilitando os trabalhos de captura, análise, manipulação, gerenciamento, de grande quantidade de dados, espacializados de forma georreferenciada, estruturando e os organizando de uma forma que estes possam subsidiar problemas complexos de planejamento e gerenciamento (SOBREIRA; SOUZA, 2012)

Um SIG contempla um conjunto de atividade organizadas, definidas por Chrisman (1997), Longley *et al.* (2005) e Olaya (2014) e mede os diversos aspectos de fenômenos e objetos geográficos; representa essas medidas, normalmente na forma de um banco de dados digital, enfatizando temas espaciais, entidades e relacionamentos; opera sobre estas representações para produzir novas medidas e descobrir novos relacionamentos através da integração de fontes diversas e transforma estas representações para ajustar a outras estruturas de entidades e relacionamentos.

No estado da arte, onde a informação e tecnologia andam juntas, a cartografia deixou de ser um trabalho de especialistas da área para abranger um leque diversificado de áreas de conhecimento, onde novas tecnologias, especialmente em âmbito colaborativo, permitiram outros tipos de usuários desenvolverem e contribuírem com suas informações produzidas (DELGADO; GARCÍA, 2017).

Portanto, a modelagem conceitual de um SIG mostra-se eficaz e deverá suprir um conjunto de requisitos, onde alguns conceitos-chave são relacionados, segundo Rugg, Dobson e Egenhofer (1998). A Figura 4 traz um resumo destes requisitos.

Figura 4 - Requisitos da modelagem conceitual para um SIG



Fonte: Adaptado de Rugg, Dobson e Egenhofer (1998).

Cabe ressaltar, ainda, os requisitos especificados para a modelagem conceituais definidos pela *European Comite for Standardization (ECS)*, o Comitê Europeu para Padronização, a qual inclui no modelo conceitual, os aspectos geométricos e os relacionamentos topológicos dos fenômenos geográficos (ECS, 1996).

Com base nestes requisitos, somados aos estudos de Lisboa Filho e Iochpe (1999; 2001), o conjunto final de requisitos que a modelagem conceitual deve suportar são: diferenciar fenômenos geográficos e objetos sem referência espacial (objetos convencionais), assim como o relacionamento entre eles; modelar dados geográficos nas visões de campos (geo campos) e de objetos (geo objetos); necessidade de organizar os fenômenos por tema, aspectos temáticos; modelar as características espaciais dos dados; representar tanto as relações espaciais (topológicas) e suas propriedades, como também as associações simples e de rede; especificar restrições de integridade espacial; modelar as características temporais dos dados, assim como relacionamentos temporais; modelar as múltiplas representações (ponto, linha, polígono, entre outros) de uma mesma entidade geográfica, tanto com base em variações de escala, quanto nas várias formas de percebê-las; modelar a qualidade dos dados (metadados) e ser independente de implementação, ou seja, não estar associado às características do *software* SIG a ser utilizado na implementação do banco de dados.

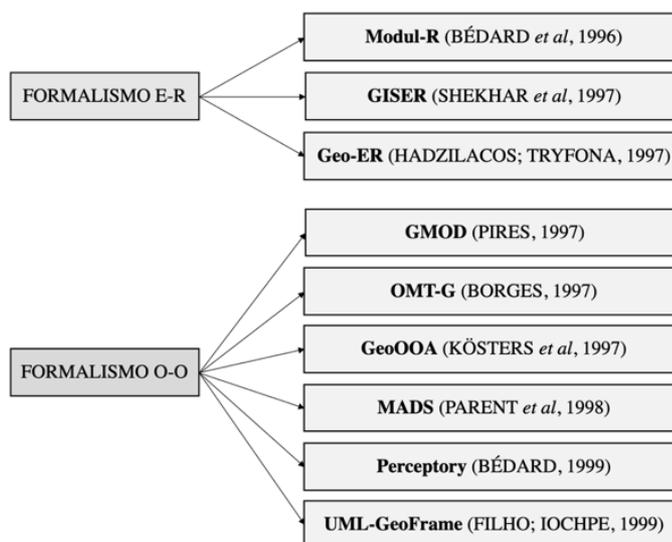
Neste sentido, a realidade geográfica, o mundo real, conforme Goodchild (1992) pode ser observada segundo duas formas: pela visão de campos e pela visão de objetos. Na visão de campos, a realidade geográfica que será modelada é definida por variáveis com distribuição contínua no espaço, ou seja, todas as posições são compostas por um conjunto de atributos. Já

a visão de objetos consiste em fenômenos individuais, definidos e identificados, cada qual com suas características individuais, sendo a realidade modelada como um grande espaço sem que todas as suas partes estejam ocupadas (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Todo fenômeno geográfico deverá ter sua localização espacial e sua forma espacial. Para isto, essas informações são definidas por meio de objetos espaciais, os quais possuem uma geometria (forma espacial do fenômeno), sendo as suas coordenadas representadas por meio de um sistema de coordenadas (ex.: latitude/longitude) e em um sistema de projeção cartográfica, a exemplo da Universal Transversa de Mercator (UTM) (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001).

Com os avanços nas técnicas de modelagem conceitual de dados geográficos, inúmeros modelos e técnicas foram desenvolvidos. São encontrados na literatura diversos modelos conceituais de dados para aplicações geográficas. Estes modelos estão classificados na Figura 5, de acordo com o tipo de formalismo utilizado como base.

Figura 5 - Modelos conceituais de banco de dados e seus autores



Fonte: Adaptado de Lisboa Filho e Iochpe (2001).

Por meio dos requisitos necessários para a construção de uma modelagem conceitual para aplicação em SIG, os modelos conceituais de formalismo ER não são adequados para aplicações em banco de dados geográficos (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2001). Uma análise crítica dos modelos apresentados na Figura 5 é feita em Lisboa Filho (1999), de acordo com os requisitos supracitados.

A construção de um modelo de dados geográficos torna a modelagem conceitual mais complexa do que um modelo para os aplicativos convencionais, pois a necessidade de englobar os aspectos espaciais, ou seja, a abstração do mundo real depende do que o usuário quer analisar

(BORGES, DAVIS JR; LAENDER, 2005). Portanto, os autores concluem que a modelagem de dados geográficos requer modelos mais específicos, capazes de captar a semântica, ou significado, dos dados. A escolha do modelo, portanto, deverá ser capaz de oferecer mecanismos de abstração mais altos, os quais independem de sua implementação.

Um dos modelos mais conhecidos no que tange à Orientação a Objetos (OO) é o modelo OMT (*Object Modeling Technique*) desenvolvido por Rumbaugh *et al.* (1991). A partir de então, este modelo conceitual passou por algumas melhorias, principalmente a partir do trabalho desenvolvido por Borges e Laender (1997), o qual trouxe primitivas geográficas para a abstração.

O modelo OMT-G foi escolhido para a realização da modelagem conceitual do banco de dados deste trabalho por se tratar de um modelo utilizado pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), que representa o conjunto de tecnologias, políticas, mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento, de padronizações e acordos para a facilitação e ordenamento da geração, armazenamento, acesso, compartilhamento e disseminação do uso de dados geoespaciais de origem federal, distrital, estadual e municipal, segundo a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, 2010).

Na utilização de modelos conceituais para aplicações geográficas, o modelo OMT-G abarca termos e primitivas para modelar geometricamente e topologicamente os dados espaciais, ou seja, compreende diferentes estruturas topológicas, várias visualizações de objetos e diversas relações espaciais (BORGES, DAVIS JR.; LAENDER, 2001).

Inicialmente, o modelo OMT-G era definido como Geo-OMT, elaborado por Borges e Laender (1997). O modelo conceitual OMT-G, nome pelo qual o Geo-OMT foi rebatizado, tem uma grande aceitação por parte dos projetistas/usuários de SIG no Brasil, e é uma extensão do modelo OMT, com seu formalismo alinhado aos conceitos da Orientação a Objetos (CRAVEIRO, 2004; LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999; BORGES, DAVIS JR; LAENDER, 2005).

O OMT-G tem sua origem nos princípios da *Unified Modeling Language* (UML), em português, Linguagem de Modelagem Unificada, criada para padronizar a notação gráfica da técnica OMT, que engloba todos os requisitos de modelagem para qualquer aplicação em todas as etapas de implementação do *software*. Portanto, a UML passou a ser usada por toda a comunidade de projetistas e desenvolvedores de sistemas que fazem uso do formalismo OO (GONÇALVES, 2008).

A extensão OMT-G acrescenta primitivas ao diagrama de classes da UML para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos (BORGES, 2002), levando ao

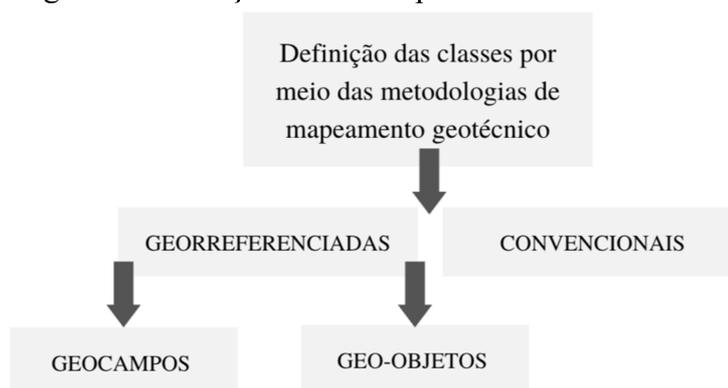
aumento da capacidade de representação semântica do dado (BORGES, 2002; DAVIS JR; LAENDER, 2005). O modelo oferece, portanto, quatro tipos adicionais de relacionamentos espaciais: estruturas de agregação, especialização/generalização, rede e associações espaciais (BORGES, 2002).

O modelo é baseado em três principais conceitos, sendo eles classes, relacionamentos e restrições de integridade espacial. Os dois primeiros conceitos (classes e relacionamentos) formam o que se chama de diagrama de classes, que consistem em esquemas estáticos de aplicação. A partir do diagrama de classes, podem-se determinar as restrições de integridade espaciais que devem ser consideradas na fase de implementação do Banco de Dados Geográficos (BDG) (BORGES, DAVIS JR; LAENDER, 2005).

O modelo conceitual OMT-G contempla dois diferentes tipos de classes: as Classes Georreferenciadas e as Classes Convencionais. As classes georreferenciadas, como seu próprio nome diz, possuem georreferenciamento, por conseguinte, uma localização geográfica na superfície terrestre (CÂMARA, 1996; LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999; BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005), representando a visão de campos e objetos (GOODCHILD, 1992; BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005).

Já as classes denominadas como convencionais não têm informações espaciais associadas a elas. Estas têm a função de descrever um conjunto de objetos, com propriedades, comportamento, relacionamentos e semânticas semelhantes e que, conseqüentemente, possuem uma relação com os objetos espaciais das classes georreferenciadas (BORGES, DAVIS JR; LAENDER, 2005). A Figura 6 sistematiza a diferenciação dos dois tipos de classe.

Figura 6 - Distinção dos dois tipos de classes existentes



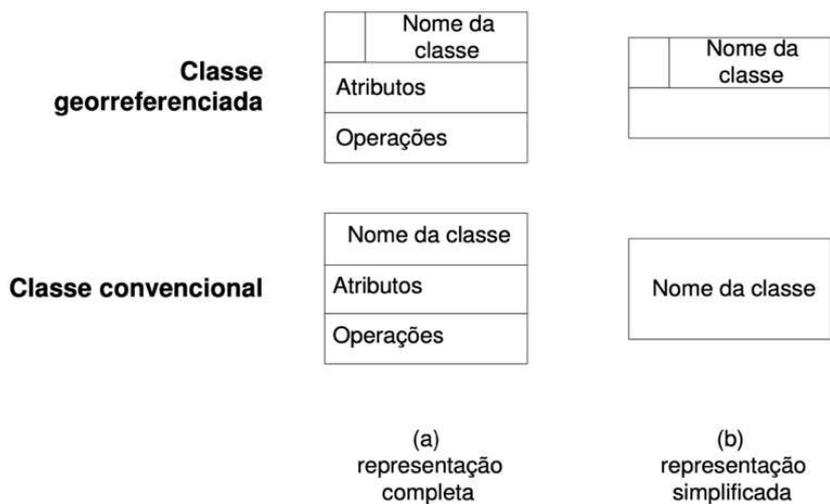
Fonte: adaptado de Borges, Davis Jr. e Lander (2005)

Distinguindo estes dois tipos de classes, é possível que uma mesma aplicação englobe dados espaciais e dados não espaciais, auxiliando, portanto, no desenvolvimento destas aplicações e na reutilização dos dados (OLIVEIRA; PIRES; MEDEIROS, 1997).

Como supracitado, a classe georreferenciada pode ser dividida em duas novas classes: geocampos e geo-objetos. Basicamente, a classe geocampo representa objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, como relevo, geologia e pedologia, conceituando os termos de visão de campos (CÂMARA, 1996). Já a classe geo-objeto define elementos geográficos do mundo real isoladamente, individualizáveis, como rios, lotes e árvores, e conceitua a visão de objetos (BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005).

As classes convencionais são representadas segundo o modelo OMT-G no diagrama de classes da mesma forma do UML. Já as classes georreferenciadas também são semelhantes à representação da UML, porém com uma divisão no canto superior esquerdo, correspondendo à primitiva geométrica (forma geométrica) do que está sendo modelado. No centro da representação da classe, são listados os atributos do objeto, estes podendo contemplar ou não atributos. Por fim, na parte inferior da representação são apresentados os métodos e as operações realizadas entre as classes (BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005). A Figura 7 demonstra a representação de cada tipo de classe através do modelo OMT-G.

Figura 7 - Notação gráfica para as classes do modelo OMT-G

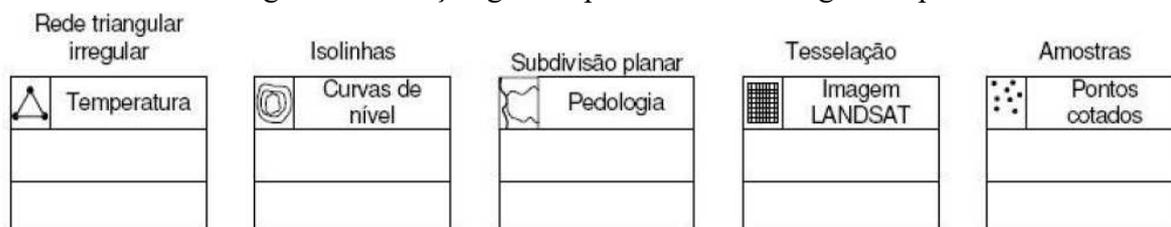


Fonte: Borges, Davis Jr. e Laender (2005).

No que tange à representação dos geocampos e geo-objetos, o modelo OMT-G apresenta um conjunto de representações fixo, com primitivas geométricas que distinguem as visões de campos e objetos na abstração da realidade (BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005).

No contexto dos geocampos, o modelo OMT-G contempla cinco diferentes tipos de primitivas geométricas, sendo elas: isolinhas, amostragem, polígonos adjacentes, tesselação e triangulação (ou malha triangular, *triangular irregular network* (TIN)). A escolha de cada subclasse e primitiva geométrica é estabelecida de acordo com o tipo de objeto que será modelado, bem como, ao tipo de análise que o projetista/usuário queira realizar. De acordo com a configuração estabelecida pelo modelo, a Figura 8 ilustra a representação das subclasses da classe geocampos.

Figura 8 - Notação gráfica para as classes de geocampos



Fonte: Borges, Davis Jr. e Laender (2005).

Para designar como geocampo, a distribuição espacial de um fenômeno deverá ser contínua, ou seja, cada posição do espaço deverá corresponder a algum valor (BORGES, 2002).

Um dos exemplos mais comuns são as curvas de nível, geralmente modeladas em isolinhas, as quais em qualquer superfície do espaço representam uma cota. Outro exemplo são os usos e ocupação do território (geralmente definidas como polígonos adjacentes). No Quadro 1, pode-se aprofundar especificamente nas características de cada subclasse dos geocampos.

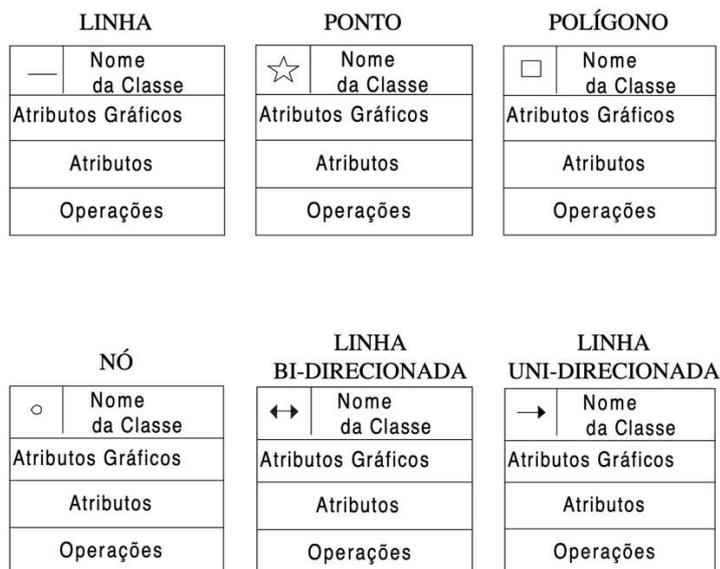
Quadro 1 - Características de cada subclasse dos geocampos

SUBCLASSE	DESCRIÇÃO
ISOLINHAS	Representa uma coleção de linhas fechadas que não se cruzam nem se tocam (aninhadas). Cada instância da subclasse contém um valor associado. Ex.: curvas de nível, curvas de temperatura e curvas de ruído. Deve-se observar que o fechamento das isolinhas sempre ocorrerá quando se considera o espaço geográfico como um todo, no entanto, na área em que se está modelando isto poderá não ocorrer;
AMOSTRAGEM	Representa uma coleção de pontos regular ou irregularmente distribuídos por todo o espaço geográfico. Ex.: estações de medição de temperatura, modelos numéricos de terreno ou pontos cotados em levantamentos altimétricos de áreas urbanas;
SUBDIVISÃO PLANAR	Representa o conjunto de subdivisões de todo o domínio espacial em regiões simples que não sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Ex.: pedologia, divisão de bairros, divisões administrativas e divisões temáticas;
TESSELAÇÃO	Representa o conjunto das subdivisões de todo o domínio espacial em células regulares que não sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Cada célula possui um único valor para todas as posições dentro dela. Ex.: imagem de satélite;
REDE TRIANGULAR IRREGULAR	Representa o conjunto de grades triangulares de pontos que cobrem todo o domínio espacial. Ex.: modelagem de terreno.

Fonte: Borges (2002).

Dentre a classe de geo-objetos, existem ainda dois tipos, a saber, a classe geo-objetos com geometria e a geo-objetos com geometria e topologia. As três primeiras classes apresentadas na Figura 9 são designadas aos geo-objetos com geometria: linha, ponto e polígono. Estas classes apresentam apenas propriedades geométricas, sendo que as últimas três classes são definidas pela geometria e topologia: nó, linha bidirecionada e linha unidirecionada. Estas, além das propriedades geométricas, apresentam uma relação topológica, de conectividade. São especificamente utilizadas para a representação de rede, como as redes de esgoto e de telecomunicações.

Figura 9 - Notação gráfica das classes de geo-objetos



Fonte: Borges, Davis Jr. e Laender (2005).

No Quadro 2, pode-se aprofundar especificamente nas características de cada subclasse dos geo-objetos.

Quadro 2 - Características de cada subclasse dos geo-objetos

SUBCLASSE	DESCRIÇÃO
LINHA	Representa objetos lineares sem existência de conectividade. Ex.: representação de muros, cercas e meios-fios;
PONTO	Representa objetos pontuais, que possuem um único par de coordenadas (x, y). Na representação do mobiliário urbano, frequentemente utiliza-se deste símbolo. Ex.: postes, orelhões, hidrantes;
POLÍGONO	Representa objetos de área, podendo aparecer conectada, como lotes dentro de uma quadra, ou isolado, com a representação de uma ilha;
NÓ	Representa objetos pontuais no fim de uma linha, ou os objetos pontuais no quais as linhas se cruzam (nó do grafo). Possui a propriedade de conectividade, garantindo a conexão com a linha. Ex.: cruzamentos (intersecção) na malha viária;
LINHA BIDIRECIONADA	Representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que são bidirecionais. Cada linha bidirecional deve estar conectada a dois nós ou a outra linha bi direcionada. Ex.: rede de fluxo de água (onde o fluxo se dá nos dois sentidos);
LINHA UNIDIRECIONADA	Representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que possuem uma direção (arco do grafo orientado). Cada linha deve estar conectada a dois nós ou a outra linha uni-direcionada. Ex: rede de esgoto (que indica a direção do fluxo da rede).

Fonte: Borges (2002).

Estabelecidas as classes de cada objeto, no modelo OMT-G são definidos os relacionamentos entre elas. Estes relacionamentos foram estabelecidos pelo modelo OMT-G por conta de os modelos anteriores ignorarem a possibilidade da modelagem de

relacionamentos dos fenômenos do mundo real (OLIVEIRA; PIRES; MEDEIROS, 1997). Para tanto, estes tipos de relacionamentos espaciais e não espaciais são importantes para a compreensão do espaço que estará sendo modelado. Destarte, o OMT-G especifica três tipos de relacionamento: associações simples, relacionamentos topológicos em rede e relacionamentos espaciais (BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005).

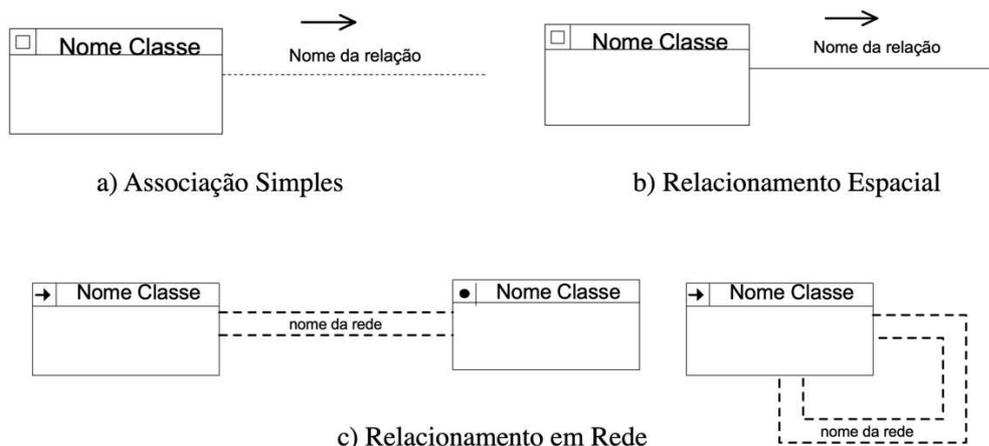
As associações simples representam o relacionamento entre objetos de classes diferentes, as quais podem estar entre as georreferenciadas e as convencionais (BORGES, 2002; BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005). Este tipo de associação poderá ter em seu nome uma seta apontando qual o sentido da relação e algumas associações podem ter atributos próprios, como mostra a Figura 10a (BORGES, 2002).

No que diz respeito às relações espaciais, estas representam as relações topológicas, métricas, de ordem e *fuzzy*. Segundo Borges (2002) e Borges, Davis Jr. e Laender (2005) algumas relações espaciais podem ser calculadas por meio de coordenadas dos objetos durante a execução das operações de análises espaciais (relações topológicas são exemplos desse caso). Algumas outras necessitam ser especificadas pelo usuário para que o sistema possa manter essas informações (conhecidas como relações explícitas). Estas relações, por meio do modelo OMT-G têm a função de deixar explícita a interação entre as classes, podendo ser relevantes para algumas aplicações (BORGES, 2002). A indicação no diagrama de um relacionamento espacial reflete a provável necessidade de se estabelecer uma restrição de integridade espacial.

A representação gráfica dos relacionamentos espaciais se dá por uma flecha simples indicando a origem da relação sobre uma linha simples (Figura 10b). O modelo traz 20 diferentes tipos de relacionamentos espaciais: disjunto, contém, dentro de (contido), toca (encontra), cobre, coberto por, sobrepõe, adjacente, perto de, acima (mais alto que, sobre) abaixo (mais baixo que, sob), sobre, sob, entre, coincide, cruza, atravessa, em frente a, à esquerda, à direita. A descrição completa de cada um destes tipos de relacionamentos é apresentada por Borges (2002).

Por fim, o modelo OMT-G define que o relacionamento em rede ocorre entre objetos que estão conectados uns aos outros e que, dentro de um SIG, suas estruturas podem ser mantidas. Estes são representados por nós e arcos conectados (BORGES, 2002). Sua representação gráfica é feita por duas linhas pontilhadas em paralelo, e no meio, o nome do relacionamento é descrito. Estas duas linhas fazem a ligação com as classes do tipo nó com as classes unidirecional e bidirecional (Figura 10c).

Figura 10 - Notação gráfica dos relacionamentos



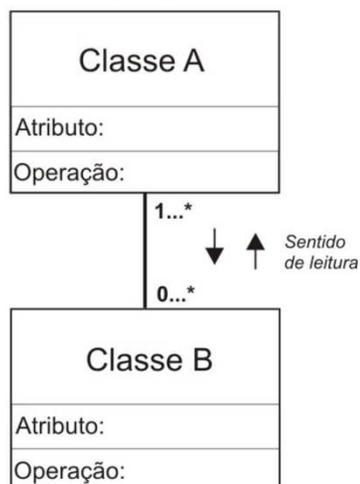
Fonte: Borges (2002).

No contexto dos relacionamentos entre as diferentes classes especificadas no modelo, não se pode deixar de falar em cardinalidade. A cardinalidade, também conhecida como multiplicidade (LISBOA FILHO *et al.* 2000) é conceituada pelo número de instâncias que se relacionam com outras instâncias de outra classe (BORGES, 2002; BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2005), ou seja, o número de objetos de uma determinada classe que se relaciona com um outro objeto de outra classe, representando a relação (associação) existente entre dois objetos (HÜBNER, 2009).

Desta forma, a cardinalidade indica quantos objetos podem estar relacionados através desses relacionamentos (LISBOA FILHO *et al.* 2000). As cardinalidades associadas aos relacionamentos formam um conjunto de restrições de integridade (devem ser mantidas na instância dos objetos no banco de dados) e em um modelo conceitual de dados para SIG deve subsidiar o projetista em representar os relacionamentos a serem mantidos no banco de dados (incluindo os relacionamentos convencionais, quanto os espaciais) (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999).

A cardinalidade das associações aparece nos finais de cada linha, na forma “mínimo...máximo”, onde mínimo e máximo são números inteiros, zero, um ou * (indicando mais de uma ocorrência). Ex.: 0...* (zero ou mais), 1...* (um ou mais), 1 (exatamente um), 0...1 (zero ou um), 1...2 (1 ou 2). Quando não consta indicação de cardinalidade na associação, significa que os valores de mínimo e máximo equivalem a 1 (HÜBNER, 2009). A Figura 11 apresenta a representação gráfica da cardinalidade.

Figura 11 - Notação gráfica de cardinalidade



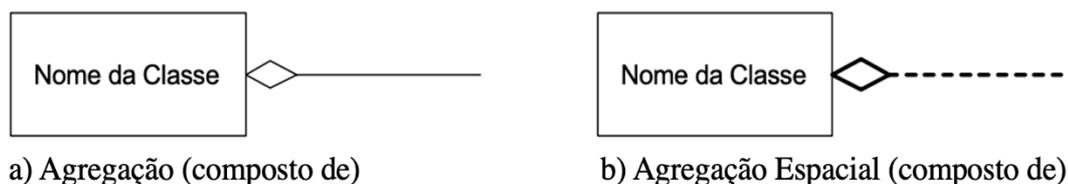
Fonte: Hübner (2009).

Em relação às associações espaciais, o modelo conceitual OMT-G particulariza a forma de associação denominada agregação. Este tipo de relacionamento (agregação) faz com que objetos de uma classe sejam formados (geometricamente) por objetos de outra classe (BORGES, 2002). Relacionado às nomenclaturas, quando o objeto primitivo é relacionado com suas partes, este é chamado de “é-parte-de”, e o relacionamento inverso é conhecido como “é-componente-de” (ELMASRI; NAVATHE, 2005). Nas questões gráficas, as representações seguem o modelo da UML, apresentada pela Figura 12 (BORGES, 2002).

As agregações podem acontecer entre classes georreferenciadas, entre classes convencionais e entre classes georreferenciadas e convencionais. Segundo a UML, quando a agregação for entre classes georreferenciadas, a linha de representação deve ser pontilhada (BORGES, 2002).

Existe ainda outro tipo de agregação espacial, a chamada “todo-parte”, onde são explicitados relacionamentos topológicos. Muitos erros na etapa de entrada de dados dentro do banco podem ser evitados, já que este tipo de agregação impõe algumas restrições de integridade espacial, fazendo com que o modelo ganhe mais clareza e expressividade (BORGES, 2002).

Figura 12 - Notação gráfica de agregação



Fonte: Borges (2002).

O modelo OMT-G contempla alguns outros tipos de relacionamentos: (i) generalização e especialização cartográfica, (ii) generalização conceitual, (iii) restrições espaciais e (iv) diagrama de temas. Estes itens não foram abordados nesta pesquisa por conta da sua não utilização no decorrer dos seguintes capítulos. Destarte, estes conceitos são abordados em Borges (2002) e Borges, Davis Jr. e Laender (2005).

Por se tratar de um modelo de abstração da realidade, que engloba os preceitos geográficos, as primitivas geométrica, topologias, restrições, cardinalidades e outras características próprias, o uso do OMT-G é justificado. Vista a importância na aplicação da modelagem conceitual para as etapas de implementação de banco de dados, o próximo item deste referencial teórico abarca uma revisão de trabalhos que aplicaram a modelagem conceitual por meio do OMT-G em suas etapas de pesquisa.

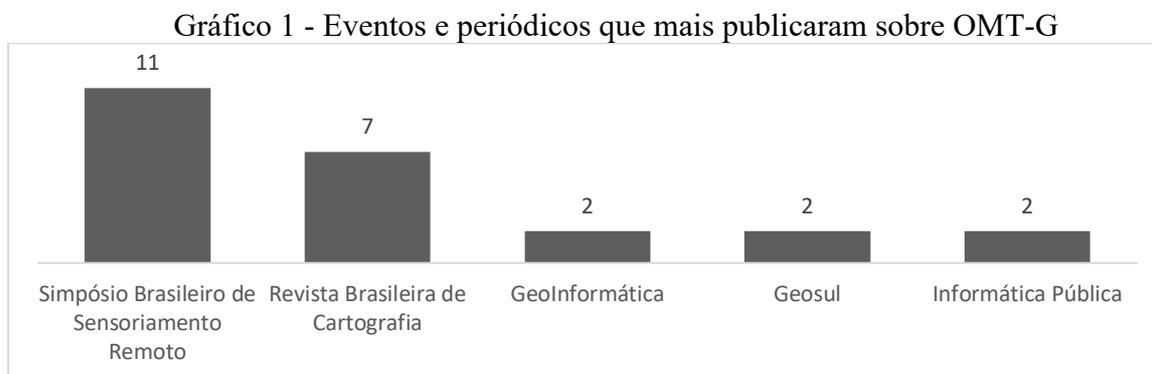
2.1.1.1 O modelo OMT-G: Estado da Arte

Esta seção abordará uma síntese da revisão bibliométrica contemplada no período entre 2000 e 2020, de forma a delinear um panorama da aplicação do modelo OMT-G em pesquisas científicas, tanto no Brasil quanto em outros países, desde a origem, através do trabalho pioneiro de Borges (1997), até a aplicação do modelo em diversas áreas.

Foram realizadas buscas nas bases de dados *EBSCO*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *SciELO*, *Scopus* e Google Acadêmico, a partir do termo “OMT-G”. Foram identificados os artigos que contemplavam diagramas de classe (principal resultado da modelagem conceitual) e seguiam os padrões do OMT-G.

No que se refere aos meios pelos quais os trabalhos foram publicados, foram elencados por meio dos artigos, eventos e periódicos que possuem duas ou mais publicações durante o lapso temporal pesquisado. O Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, organizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), lidera o ranking, com 11 publicações relacionadas ao modelo OMT-G, seguido da Revista Brasileira de Cartografia, com sete artigos.

Os periódicos GeoInformática, Geosul e Informática Pública completam o gráfico empatados com duas publicações durante os anos analisados. O Gráfico 1 ilustra tais resultados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à produção por ano, observa-se no Gráfico 2 que o período analisado não se mantém tendencioso ao crescimento ou decréscimo da aplicação do OMT-G nas pesquisas. Cabe ressaltar que o período em que houve maiores números de publicações foram os anos de 2007 (oito artigos) e 2016 (seis artigos), colocando-os como os anos mais produtivos desde o surgimento deste modelo, desvelando um aumento do interesse por meio dos pesquisadores com o modelo.

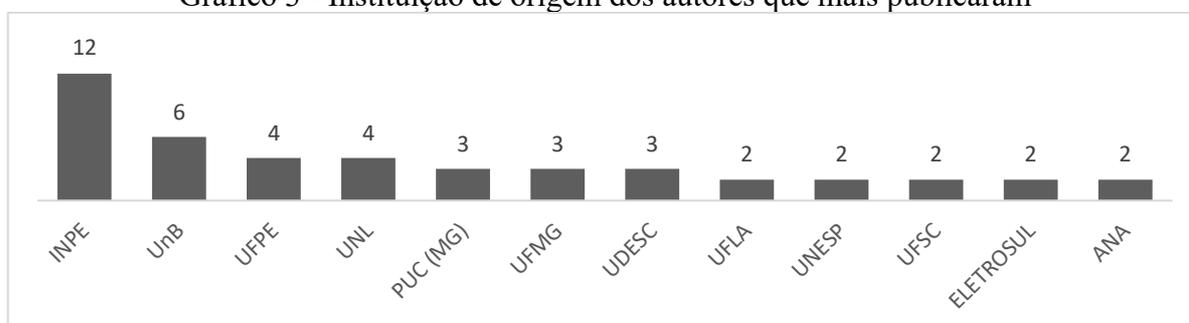


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto às instituições de origem dos autores das pesquisas, o ranking é liderado pelo INPE, com sua sede localizada em São José dos Campos (SP) e com outras 11 instalações pelo Brasil. O INPE é fonte de 12 artigos publicados ou 22,6% de todas as aplicações do modelo conceitual OMT-G. Como sucessor, tem-se a Universidade de Brasília (UnB) com 6 artigos ou 11,3% do volume total. Na sequência, com 4 artigos ou 7,5% cada uma entre o período, encontram-se a UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e a UNL (Universidade Nova de Lisboa).

Com três artigos ou 5,6% das publicações para cada universidade ficam a PUC-MG (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e a UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina) e, por fim, as últimas cinco instituições são contempladas com 2 publicações, ou 3,7% dos trabalhos pela UFLA (Universidade Federal de Lavras), UNESP (Universidade Estadual Paulista), UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), CGTEletrosul e a ANA (Agência Nacional de Águas). O Gráfico 3 representa os dados supracitados. Para efeito de visualização, estão explicitados abaixo apenas as instituições cujo número de publicações é igual ou superior a dois.

Gráfico 3 - Instituição de origem dos autores que mais publicaram



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na amostra final dos trabalhos, alguns autores tiveram destaque ao publicar mais de um artigo dentro do lapso temporal entre 2000 e 2019. Destarte, a Tabela 1 apresenta o nome do autor, sua instituição de origem, a quantidade de trabalhos desenvolvidos que abarcam o uso do modelo conceitual OMT-G.

Tabela 1 - Autores, instituição de origem e quantidade de publicação relacionadas ao OMT-G

AUTOR	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM	Nº DE PUBLICAÇÕES
Clodoveu A. Davis Junior	UFMG / PUC (MG) / PRODABEL	6
Maristela Terto de Holanda	UnB	4
Rui Pedro Julião	UNL	4
Vivian da Silva Celestino Reginato	UFSC / CGTEletrosul	4
Alberto H. Frade Laender	UFMG	2
Alda Monteiro Barbosa	INPE	2
Alexandre de A. Teixeira	ANA	2
Edilson de Souza Bias	UnB	2
Francisco H. de Oliveira	UDESC	2
Henrique P. F. Filho	UnB	2
João Viane Soares	INPE	2

José Simião de Medeiros	INPE	2
Karla A. V. Borges	UFMG	2
Lucilene A. C. M. de Sá	UFPE	2
Melissa Carvalho	INPE	2
Silvana Philippi Camboim	UFPR	2
Silvio Luis Rafaeli Neto	UDESC	2
Tatiana G. C. Vieira	UFLA	2
Valter Antonio Becegato	UDESC	2
Vanessa C. O. de Souza	UFLA	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os quatro pesquisadores que mais desenvolveram pesquisas com o uso do modelo OMT-G encontram-se Clodoveu A. Davis Junior, engenheiro civil, mestre e doutor em Ciência da Computação, docente da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e pesquisador do CNPq, liderando o ranking com 6 publicações. Empatados, com 4 publicações cada, seguem Maristela Terto de Holanda, engenheira eletrônica, mestre e doutora em engenharia elétrica e docente da Universidade de Brasília (UnB).

Vivian da Silva Celestino Reginato, engenheira cartógrafa, mestre em sensoriamento remoto, doutora em engenharia civil e pós-doutora em modelação geográfica e gestão territorial, docente na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e por fim, Rui Pedro Julião, geógrafo e planejador regional, doutor em geografia e planejamento regional e docente na Universidade Nova de Lisboa (UNL), em Portugal.

Concernente aos assuntos abordados na aplicação do modelo conceitual OMT-G o Quadro 3 apresenta os temas, os objetos do mundo real que foram abstraídos e o autores que realizaram cada trabalho.

Quadro 3 - Temas, objetos modelados em OMT-G e autores

TEMA	OBJETOS MODELADOS	AUTOR(ES)
DADOS GEOTÉCNICOS	Fundação (rasa ou profunda); hidrografia; edificação; lote; quadra; perfil geotécnico (N_{SPT}); altimetria; geologia; uso e ocupação do solo; ortoimagem.	AMORIM; MOURA; GUSMÃO; ALVES (2016).
CTM (CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO)	Imagens de satélite; hidrografia; planialtimetria; sistema viário; zoneamento; rede infraestrutura; área do imóvel; dados da parcela; cadastro imóvel rural; documentação do cadastro do imóvel rural; consulta de parcelas; município; bairros; segmento de via; cruzamento; quadra; lote; endereço; construção (residencial, comercial, industrial); reserva natural; unidades federativas; distritos; subdistritos; parcelas.	PELEGRINA; SOUSA NETO; MORAES (2012); ARAÚJO; BIAS; HOLANDA (2015); LIZARDO; DAVIS JR. (2017); OLIVEIRA; OLIVEIRA (2019); HÜBNER (2009).
MUB (MAPA URBANO BÁSICO)	CTM; energia; hidrografia; obras públicas; planialtimetria; telecomunicação; transporte.	BERTINI; CÉZAR NETO (2004).

CADASTRO URBANO	Cidade; lotes; planialtimetria; proprietários de lote; segmentos de estradas.	BORGES; DAVIS JR; LAENDER (2001).
ENERGIAS RENOVÁVEIS	MDE; imagens de satélite (uso e ocupação do solo); estação meteorológica; direção e velocidade do vento; velocidade vertical do vento; umidade relativa; pressão atmosférica; temperatura; imagem radar (DEM); radiação global (anual, diária e classificada); indicação solar; potencial solar; aspecto; indicação eólica; potencial eólico; direção de fluxo; fluxo acumulado; drenagem; drenagem altitude; focal máximo; diferença de queda; queda e restrição; altitude de queda; ponto de fluidez; lâmina d'água; bacia hidrográfica; altitude lâmina; potencial hídrico.	REGINATO; JULIÃO (2016); REGINATO; JULIÃO (2017); REGINATO; JULIÃO (2019).
TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	Cidade; bairros; abrangência do reservatório; abrangência de registro; logradouro; conta de cliente; hidrômetro; posto de pagamento; trecho rede água; captação; estação de tratamento; estação de bombeamento; estação de produção; reservatório; hidrante.	CORREA; DAVIS JR (2008).
CADASTRO AMBIENTAL RURAL	Área do imóvel; área líquida do imóvel; cobertura do solo; feições ambientais protegidas; APP; área de uso restrito; reserva legal;	COUTO; BRITES; BIAS; TEIXEIRA; SOUSA (2017).
RECURSOS HÍDRICOS	Limites dos municípios; bacias hidrográficas; pontos de coleta; imagens aéreas; indicadores ambientais; trecho do curso d'água; curso d'água; rio; tipo de dominialidade; ottobacia; confluência; foz; nascente.	LAGO (2006); TEIXEIRA; PRADO; SILVA; SHERER-WARREN; HAUSCHILD; SOUZA; CAMPOS NETO (2007).
RESÍDUOS SÓLIDOS	Município; setor censitário; moradia; cidade sede; unidade de saúde; rede viária; central de gerenciamento de resíduos sólidos (CGRS); imagens de satélite; MDE; hidrografia; estradas; área urbana; pedologia; aeroporto; declividade; distância da estrada; distância da hidrografia; distância da área urbana; áreas potenciais para instalação do aterro sanitário.	SILVA; PINHEIRO (2010); LEITE; RAFAELI NETO; BIFFI; VIEIRA; SIQUEIRA; BACEGATO (2015).
INVENTÁRIO FLORESTAL	Município; bacias hidrográficas; sub-bacias hidrográficas; fragmento florestal; parcela florestal; unidades de conservação; fitofisionomia; unidades regionais; núcleos do IEF.	OLIVEIRA; CAMPOS; COELHO; FRANÇA (2007).
ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	Propriedade; curso d'água; nascente; APP; APP curso d'água; APP nascente; consolidada e não consolidada; preservada e alterada.	OLIVEIRA; TORRES; RAFAELI NETO; BECEGATO (2013).
ACESSIBILIDADE	Bairro; logradouro; imagem aérea; quadra; calçada; calçada rebaixada; rampa; obs fisico; parada	ROCHA; MARQUES DE SÁ; CARNEIRO (2016).
DERRAMAMENTO DE ÓLEO	Imagens satélite; uso e ocupação do solo; hidrologia; índice de sensibilidade ambiental; recurso biológicos; recursos sócioeconômicos; acessos; pontos amostrais.	CARVALHO; GHERARDI (2005).

CAFEICULTURA	Limites regionais; municípios; hidrografia; deficiência hídrica; excedente hídrico; temperatura; aptidão do café; pedologia; microrregiões; imagens de satélite; mapas índices; relevo; uso e ocupação; café em produção; café em formação/renovação; mata; reflorestamento; corpos d'água; área urbana; outros usos.	VIEIRA; ALVES; SILVEIRA; BERNARDES; SOUZA (2007); VIEIRA; ALVES; VOLPATO; SOUZA (2011).
ENDEREÇAMENTO	Mapas da cidade; aerofotogrametria; imagens de satélite; comunas; distritos; bairros; ruas; quadras; lotes; pontos de interesse; municípios; endereço local; código postal; cruzamentos; ponto de referência (ponto ou área).	DAVIS JR; FONSECA (2007); MELAAININE; RHINANE; BAIDDER; LECHGAR (2013).
ECOTURISMO	Curvas de nível (geomorfologia); aerofotogrametria; imagens de satélite (uso e ocupação dos solos); estradas e ponto de ecoturismo (mapa de ecoturismo); drenagem; pedologia; geologia; pontos de ecoturismo; estradas; curvas de nível; declividade; hipsometria; uso e ocupação; unidades de paisagem; limites do circuito; mapa de ecoturismo	BARBOSA; SOARES; MEDEIROS (2005); BARBOSA; SOARES; MEDEIROS; VENEZIANI; FLORENZANO (2007).
BIOLOGIA MARINHA	Batimetria; profundidade; temperatura; temperatura da superfície do mar (TSM.); estações de coleta; fonte de dados (alfanuméricos, bases cartográficas e localização); área de estudo; sub-áreas; ponto de coleta (biológico - organismo - classificação organismo e físico/químico - água e sedimento); biota; invertebrados; bentos; macrobentos; megabentos	GÓES; CARVALHO (2005); CARVALHO; GIANNOTTI; SARTOR; QUINTANILHA (2012).
ACIDENTES DE TRÂNSITO	Planta cadastral; endereço; intersecção semaforica; logradouros; mudança de direção de trânsito; cruzamentos; ponto de ônibus; quadras; sentido do tráfego; malha viária; aerofotogrametria.	MEINBERG (2003).
SISMOLOGIA	Proprietário; rede; estação; estado; província tectônica; canal; dado bruto; dado analisado; analista; evento; tipo de evento; foco; magnitude; medição; levantamento macrosísmico; intensidades; falhas; segmentos de falhas; tipo de solo; tipo de construção.	ABDAT; ALIMAZIGHI; ALLILI; BELJOUDE (2005); SAATKAMP; FREITAS FILHO; HOLANDA; FRANÇA (2012).
GEOLOGIA	Estrutural; unidade geológica; afloramentos; petrografia; geoquímica convencional; geoquímica isotópica.	CIPULLO; ROIG (2013).
VIOLÊNCIA URBANA	Cruzamento; trecho de logradouro; logradouro; bairro; endereços; pessoas; fatos; óbitos; agressores; vítimas.	SIQUEIRA; CARNEIRO; GOVONE (2007).
ATERRO SANITÁRIO	Município; aterro sanitário; águas superficiais; piezômetro; declividade; relevo; plataforma; lagoa anaeróbica; dreno; imagens de satélite; poço de visita; pontos georreferenciados.	MATSUOKA; FERNANDES (2018).
TRANSPORTE COLETIVO	Itinerário; trecho da linha; parada de ônibus.	MATA; FERREIRA; HOLANDA; LAMAR (2015).

REGULARIZAÇÃO URBANA	Imagens de satélite; aerofogrametria; município; destritos; quadras; parcelas (construída e não construída); unidade de construção; segmento de rua; infraestrutura; proprietário (pessoa física ou jurídica); endereço de correspondência.	REINHARDT; SILVA; VERONEZ (2007).
GESTÃO DE DADOS DO MUNICÍPIO	Educação; lazer; saúde; segurança.	SANTOS; FREITAS FILHO; HOLANDA (2016).
DADOS DE TEMPERATURA	Município (limite municipal e sede municipal); limite estadual; temperatura; metadado; variação; catálogo de imagens (NDVI, SAVI, NDWI, celsius)	CARVALHO; CUNHA; SOUZA; PEDRASSOLI (2015).
MOVIMENTOS DE MASSA	Uso do solo; pedologia; geologia; geomorfologia; declividade; curvatura vertical; curvatura horizontal.	BISPO; ALMEIDA; VALERIANO; MEDEIROS; CREPANI (2009).
MOBILIDADE URBANA	Usuário; rotas; pontos de coleta; base do open street map.	CAMARA; CAMBOIM; CAMPOS (2019).
EXPANSÃO URBANA	Uso e ocupação (três diferentes épocas); altimetria; hidrografia.	SILVA; MELLO; FORMAGGIO (2007).
MAPEAMENTO DE PLANTAÇÕES	Limites da área de estudo; imagens de satélite; limites municipais.	MOURA; MULER; JACON (2017).
ANÁLISE DE VULNERABILIDADE	Geologia; geomorfologia; uso e ocupação; pedologia; altimetria; declividade; bases cartográficas.	SOUZA; KUX (2011).
ÍNDICE DE CARÊNCIA HABITACIONAL	Censo demográfico; bases cartográficas; banco de dados; mapeamento dos cenários.	GIOIA; BARROS (2014).
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO	Estradas; mancha urbana; continente; recursos socioeconômicos; equipamentos de resposta; segmentos; mangues; recursos hídricos; recifes; fonte de informação; habitats submersos; recursos biológicos; oceano; bancos (de areia e de lama).	VALDEVINO; MARQUES DE SÁ (2013).
QUALIDADE DA ÁGUA	Imagens de satélite; hidrografia; uso do solo; APP; amostra de relevo; geologia; pedologia; evolução da vegetação.	ELMIRO; FREITAS; DUTRA; ROSA (2005).
CLASSIFICAÇÃO DE PASTAGEM	Inventário florestal; áreas antrópicas do cerrado; formações campestres nativas; formações campestres antrópicas; imagens de satélite; variáveis coletadas; formação do cerrado.	COSTA; FONSECA; KÖRTING (2015).
PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	Bairro; logradouro; semáforo; quadras; acidentes.	SANTOS; FERREIRA (2004).
COMPLEXO AEROPORTUÁRIO	Construções aeroportuárias; pista de pouso ou heliponto; faixa de segurança.	ANDRADE; BORBA; DE PAULO (2016).
MÍDIAS SOCIAIS (EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS)	Estados; cidades; bairros; florestas; lagoas; local (museu, monumentos, sítios históricos, vigia cênica, trilha).	BADOLATO; BORBA; STRAUCH (2018).

CARTA DE PESCA	TSC; gradiente termal; vento na superfície; csm; batimetria; carta de pesca.	FREITAS; KAMPEL; SILVA; KOLLING (2011).
ESGOTO SANITÁRIO	Ramal de esgoto; rede de esgoto; lote; elemento.	MORAES; FERREIRA (2014).

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível analisar por meio deste levantamento, que os assuntos mais abordados por meio do modelo OMT-G são temas relacionados ao cadastro técnico multifinalitário ou municipal (CTM) (HÜBNER (2009); PELEGRINA; SOUSA NETO; MORAES, 2012; ARAÚJO; BIAS; HOLANDA, 2015; LIZARDO; DAVIS JR, 2017; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2019), análises de locais com potencial de geração a partir de energias renováveis (REGINATO; JULIÃO, 2016; REGINATO; JULIÃO, 2017; REGINATO; JULIÃO, 2019).

Foram realizadas ainda análises da superfície terrestre aplicada especificamente à sismologia (ABDAT; ALIMAZIGHI; ALLILI; BELJOUDE, 2005); SAATKAMP; FREITAS FILHO; HOLANDA; FRANÇA, 2012), aplicações de SIG em observações de biologia marinha (GÓES; CARVALHO, 2005); CARVALHO; GIANNOTTI; SARTOR; QUINTANILHA, 2012), informações acerca de pontos de ecoturismo (BARBOSA; SOARES; MEDEIROS, 2005); BARBOSA; SOARES; MEDEIROS; VENEZIANI; FLORENZANO, 2007), cadastros referentes ao endereçamento, aplicando o modelo conceitual para a organização do mesmo (DAVIS JR; FONSECA, 2007); MELAININE; RHINANE; BAIDDER; LECHGAR, 2013).

Foi construído um modelo de um banco de dados para armazenamento de informações referente à cafeicultura e análises espaço/temporal de regiões produtoras de café (VIEIRA; ALVES; SILVEIRA; BERNARDES; SOUZA, 2007); VIEIRA; ALVES; VOLPATO; SOUZA, 2011), em resíduos sólidos, na análise das alternativas locais para a instalação de aterros sanitários e para a construção de um SIG para a gestão destes resíduos (SILVA; PINHEIRO, 2010; LEITE; RAFAELI NETO; BIFFI; VIEIRA; SIQUEIRA; BACEGATO, 2015), e nas áreas de recursos hídricos (LAGO, 2006; TEIXEIRA; PRADO; SILVA; SHERER-WARREN; HAUSCHILD; SOUZA; CAMPOS NETO, 2007).

A partir da amostra total dos artigos, foram levantados os trabalhos que em seu corpo traziam um dicionário de dados, elemento que documenta todas as classes e atributos do esquema conceitual, facilitando sua leitura e entendimento, não obstante, proporciona uma organização lógica e padronizada das classes de objetos na fase de modelagem física, esta padronização se refere a descrição espacial (geometria) e semântica (atributos), a representação (simbologia), e a codificação (nomenclatura), levando o documento à um nível de maior legibilidade e acessibilidade, gerando um valor agregado nestas informações que serão geradas,

facilitando a troca de dados entre setores, departamentos e usuários (HUBNER; OLIVEIRA; DAL SANTO, 2013).

Estas tabelas têm a finalidade de explicar as nomenclaturas das classes e suas descrições, atributos, tipos de dados de entrada (*integer, double, date, boolean, etc.*), primitiva geométrica da classe, constituindo, portanto, uma etapa relevante anterior à modelagem (COUTO, 2017).

Diante disto, foram identificados cinco artigos que trouxeram em seu corpo este conceito de dicionário de dados. Lago (2006) apresenta um dicionário contendo o nome da classe e sua forma de representação, os atributos juntamente com seu tipo e descrição. Valdevino e Marques de Sá (2013) traz uma tabela contendo o nome da classe, sua descrição e primitiva geométrica, os atributos juntamente com seu tipo, tamanho e descrição. Hubner, Oliveira e Dal Santo (2013) levam em consideração na elaboração deste dicionário os padrões da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) (2005; 2007).

Por fim, Oliveira e Oliveira (2019) apresentam este tipo de dicionário contendo os atributos de cada classe juntamente com o tipo de dado, possibilidade de valores nulos, número máximo e mínimo de algarismos, valores máximos e mínimos (quantitativos e qualitativos) de cada atributo e frequência máxima dos registros únicos. Cabe ressaltar que, diante da amostra analisada, apenas 9,43% dos artigos contemplavam em seus resultados ou método a elaboração deste documento.

Por esta pesquisa se tratar da aplicação do modelo OMT-G como subsídio à elaboração de um banco de dados relativo ao mapeamento geotécnico, fez-se, além disso, uma análise dos trabalhos relacionados a dados geológicos ou geotécnicos.

Neste sentido, três artigos foram selecionados, entre eles, o primeiro em ordem cronológica com o objetivo de apresentar por meio de um diagrama de classes do modelo OMT-G as principais etapas e o modelo conceitual dos dados utilizados para a realização da identificação e avaliação de um método de inferência espacial mais adequado para a modelagem da suscetibilidade à movimentos de massa (BISPO *et al.* 2009). Este trabalho modela classes referente ao uso do solo, pedologia, geologia, geomorfologia, declividade e ainda curvatura vertical e horizontal, como dados de entrada. A partir do tratamento destes dados por meio de inferência booleana e ponderações de geo-campos com valores *Fuzzy* a criação de novas classes.

Seguindo a cronologia, em 2013 é publicado na Revista Brasileira de Cartografia um trabalho realizado por Cipullo e Roig (2013) objetivando a construção de um modelo conceitual de banco de dados geográfico com a temática da geologia. A proposta surgiu pela alta demanda

no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB) a partir de trabalhos e pesquisas que consumiam uma grande quantidade de dados geocientíficos. Estas informações, segundo os autores, encontravam-se dispersas, acarretando diversos problemas, sobretudo à segurança e disponibilidade desses dados. Por esse motivo, os autores identificaram tal lacuna e propuseram um modelo conceitual que subsidiaria a implantação de um banco de dados em um SGBD. Cipullo e Roig (2013) se basearam nos preceitos da Estrutura de Dados Geográficos e Vetoriais (EDGV), publicada em 2008 pela CONCAR. O modelo apesar de não contemplar todos os dados referente às geociências, já representa um grande avanço no armazenamento de informações chamadas de básicas na área da geologia, podendo ocasionar uma nova cultura de armazenamento de dados dentro das instituições geológicas, entretanto, é necessário que o modelo evolua para outras áreas correlatas às geociências (CIPULLO; ROIG, 2013).

Por fim, Amorim *et al.* (2016) publicaram um trabalho com o objetivo de construir um banco de dados geotécnicos, contemplando o perfil geotécnico do solo (ensaios de SPT realizados em cada empreendimento), juntamente com o tipo de fundação utilizada em cada área, ortoimagens, bases cartográficas, Modelo Digital do Terreno (MDT) e o mapa geológico, garantido por meio do modelo conceitual a homogeneização destes dados especializáveis, agregando clareza e facilidade para a construção do diagrama de classes do banco de dados geotécnicos. Vale ressaltar a lacuna existente no trabalho de Amorim *et al.* (2016), ocasionada pela falta da construção do dicionário de dados.

Haja vista a aplicação do modelo conceitual, especificamente o OMT-G, nas áreas da geologia e geotecnia, vale ressaltar a baixa quantidade de publicações referente à estas aplicações. Abstrair esses elementos geográficos, levando em consideração a alta variabilidade e tipologias de dados em um mesmo ambiente geográfico se mostram eficaz sob a ótica da organização e otimização das fases de coleta, armazenamento e disseminação dos mesmos.

Por meio do objetivo que esta dissertação traz, a literatura referente ao emprego do uso da modelagem conceitual ao mapeamento geotécnico está incipiente, trazendo à luz, uma lacuna de pesquisa. Portanto, o próximo item abordará a teoria e o estado da arte da outra variável que subsidiará o objetivo geral desta pesquisa.

2.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A seção que se apresenta é referente à variável mapeamento geotécnico, contemplando os principais conceitos e definições, principais autores que disseminaram esta temática e que colaboraram no desenvolvimento da ciência do mapeamento geotécnico, as metodologias que

subsidiaram essa linha de pesquisa, os principais temas abordados acerca desse tipo de mapeamento, e por fim, um estado da arte que traz a produção científica dessa temática.

É preciso contextualizar partindo da grande área do conhecimento dentro da engenharia civil, a geotecnia. A engenharia geotécnica é um ramo da engenharia civil que estuda os materiais naturais próximos a superfície terrestre, englobando os princípios da mecânica dos solos, desenvolvimento de fundações, estruturas de contenção e obras de terra (DAS; SOBHAN, 2017). Este ramo tem a função de equilibrar a interação do homem/estrutura com o meio ambiente, produzindo obras mais sustentáveis e um correto planejamento (POLIVANOV; BARROSO, 2011).

O solo, em vista da Engenharia Civil, é definido como uma aglomeração relativamente solta dos minerais e materiais orgânicos encontrados acima do manto rochoso (HOLTZ; KOVACS, 1981). Para simplificar a definição, Holtz e Kovacs (1981); Caputo e Caputo (2016) e Das e Sobhan (2017) concluem que os solos são produtos da decomposição, desintegração das rochas e decomposição orgânica.

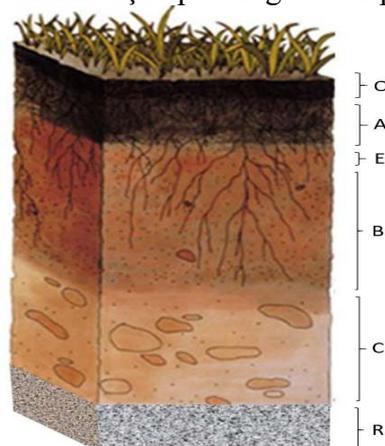
Frente à alta variação e à diversidade de comportamentos e características dos solos, segundo Hachich *et al.* (1998) a engenharia busca classificá-los em grupos e subgrupos, com propriedades e comportamentos similares. Existem diversos métodos de classificação desse elemento, sendo alguns em função de sua estrutura, de sua origem, da evolução, presença de matéria orgânica, entre outras diretrizes. Neste estudo, as classificações geológicas e pedológicas serão as mais relevantes, e serão foco da discussão bibliográfica do próximo item.

2.2.1 Classificação dos Solos

A classificação dos solos por si não tem um significado prático, todavia, por organizar o conhecimento, a classificação estará em constante evolução. Em mapas de solos, a classificação norteia a semântica (legenda) e o corpo real (temas), expressando os delineamentos contidos nos mapas. Pode ser dito como a transferência do conhecimento (KER *et al.* 2015).

Com um conjunto de fenômenos biológicos, físicos e químicos, o solo começa a se formar e, a partir de uma rocha ou saprólito, surge uma série de “bandas”, relativamente paralelas à sua superfície (LEPSCH, 2010; KER *et al.* 2015), que são chamadas de horizontes (Figura 13). Elas são divididas visivelmente, apesar de algumas vezes as transições entre as mesmas serem imperceptíveis (LEPSCH, 2010).

Figura 13 - Classificação pedológica dos perfis de solo



Fonte: Lepsh (2010)

O perfil de um solo completo e bem desenvolvido possui cinco tipos de horizontes, e são denominados pelas letras maiúsculas: O, A, E, B e C (Quadro 4). Muitas vezes, em perfis de solo, não é possível encontrar todos estes horizontes (LEPSCH, 2010). O autor ainda afirma que, visivelmente o solo pode ser analisado em taludes escavados, perfil de solo exposto, cortes de estrada e em trincheiras, locais propícios para classificação e exame da descrição morfológica.

As características morfológicas, em seu turno, refletem a constituição do solo e as condições pelas quais ele foi formado. Essas características transparecem e fornecem diretrizes acerca de drenagem, permeabilidade, compactação, suscetibilidade à erosão, facilidade de mecanização, etc. Portanto, as características morfológicas devem ser essencialmente analisadas nas etapas de campo, e posteriormente, validadas e complementadas pelas análises de laboratório (KER *et al.* 2015). Ver Quadro 4.

Quadro 4 - Características dos horizontes do solo

HORIZONTE	CARACTERÍSTICAS
O	Horizonte orgânico de solos minerais (Oo – pouco decomposto; Od – mais decomposto), constituído principalmente por folha e galhos que caem dos vegetais e pelos primeiros produtos em decomposição (LEPSCH, 2010). Se caracteriza por ser uma camada drenante e distingue-se pela coloração escura e conteúdo orgânico (SANTOS; DAIBERT, 2014).
H	Outro tipo de horizonte orgânico (hístico), bastante espesso e que ocorre mais em áreas encharcadas, característico dos solos onde esses materiais predominam sobre os minerais (LEPSCH, 2010).
A	Camada predominantemente mineral mais próxima da superfície. Sua característica fundamental é o acúmulo de matéria orgânica, tanto parcial como totalmente humificada. Normalmente escurecido por conter quantidades razoáveis de húmus (LEPSCH, 2010). Ocorre grande atividade biológica, conferindo coloração escurecida. Existem diferentes tipos de horizonte A, dependendo de seus ambientes de formação (SANTOS; DAIBERT, 2014).

E	Presente em alguns solos, é mais claro, no qual ocorrem perdas de materiais translocados para o horizonte B (argilas e/ou óxidos de ferro e húmus) (LEPSCH, 2010). Apresenta menor quantidade de matéria orgânica e maior acúmulo de compostos de ferro e argilominerais. Ocorre concentração de minerais resistentes, como quartzo em pequenas partículas (areia e silte). Horizonte com o máximo de acúmulo, com bom desenvolvimento estrutural (SANTOS; DAIBERT, 2014).
B	Situa-se abaixo do horizonte A ou E, desde que não tenha sido exposto à superfície pela erosão. É definido como aquele que apresenta o máximo desenvolvimento de cor, estrutura e/ou que possui acúmulo de materiais translocados dos horizontes A e/ou E (LEPSCH, 2010). Ocorre concentração de minerais resistentes, como quartzo em pequenas partículas (areia e silte). Horizonte com o máximo de acúmulo, com bom desenvolvimento estrutural (SANTOS; DAIBERT, 2014).
C	Normalmente corresponde ao saprólito, isto é, à rocha pouco alterada pelos processos de formação do solo e, portanto, com características mais próximas ao material do qual o solo se formou (LEPSCH, 2010). Camada mineral de material inconsolidado, ou seja, por ser relativamente pouco afetado por processos pedogênicos, o solo pode ou não ter se formado, apresentando-se com pouca expressão de propriedades identificadoras de qualquer outro horizonte principal (SANTOS; DAIBERT, 2014).
R	Rocha sã ou inalterada, que deu origem ao solo. Camada de material consolidado, constituindo o substrato rochoso contínuo ou quase contínuo, dividido apenas pelas poucas falhas geológicas (IBGE, 2007).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os horizontes apresentados no Quadro 4 podem ser superficiais ou subsuperficiais, dependendo do local que ocupam. Horizontes subsuperficiais, esporadicamente, podem ocupar a superfície, se o horizonte superficial tiver sido removido (KER *et al.* 2015). Nem sempre todos os horizontes do solo estão visíveis, por exemplo, muitos perfis não contemplam o horizonte E, tampouco o B (LEPSCH, 2010).

A coloração mais escura dos horizontes superficiais se deve à deposição dos resíduos orgânicos, enquanto em horizontes mais profundos as tonalidades são mais claras (regiões temperadas) e mais vermelho-amarelado (regiões tropicais) por serem mais ricos em argilominerais, ferro e alumínio (TEIXEIRA *et al.* 2009).

Os perfis dos solos, juntamente com seus horizontes, são essenciais nas análises e construções de mapeamentos de solo. E, para isto, um sistema de classificação deverá ser seguido para a organização de suas classes. A partir desta necessidade, a seguir, será apresentado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

O SiBCS é resultado de uma compilação estruturada por meio de estudos e levantamento de solo realizados em todos os estados brasileiros, por mais de 60 anos (LEPSCH, 2010). Sua primeira versão teve início em 1980, apresentada pela Embrapa Solos em 1999 e suas versões são corriqueiramente otimizadas e adequadas à realidade do território. Este método de padronização de classificação leva em consideração as características morfológicas dos solos, ou seja, os horizontes constituintes, profundidade e espessura dos horizontes, as cores

(definidas pela tabela de *Munsell*), granulometria e textura das partículas, estrutura das partículas, consistência do material, e outras (IBGE, 2007).

Dentro da concepção do SiBCS, foi estruturado para comportar seis níveis categóricos (ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, família e séries). O Quadro 5 conceitua cada nível hierárquico do SiBCS.

Quadro 5 - Definição dos níveis hierárquicos pelo SiBCS

NÍVEL	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
1º	Ordens (13 classes)	As classes são separadas por critério como: presença ou ausência de atributos e horizontes diagnósticos ou propriedades que são passíveis de ser identificadas no campo, mostrando diferenças no tipo e grau de desenvolvimento de um conjunto de processos pedogenéticos.
2º	Subordens (43 classes)	Reflete ainda sobre a gênese do solo, indicando processos e intensidade de formação do solo, e ainda sobre outros agentes que implicarem em sua formação. Expressa o grau de desenvolvimento de características genéticas (relacionadas aos agentes formadores do solo)
3º	Grandes grupos (192 classes)	São separados pelo tipo e arranjo dos horizontes, atividade de argila, condição de saturação do complexo sortivo por bases ou por Al (alumínio), ou por NA e/ou por sais solúveis. Presença de horizontes ou propriedades que restringem o desenvolvimento de raízes e alteram o movimento da água no solo.
4º	Subgrupos (812 classes)	São definidos pelas seguintes características: representam solos intermediários para classes do 1º, 2º ou 3º níveis categóricos; representam os solos com características extraordinárias (que possam indicar variação relevante do conceito central da classe ou limitação para algum tipo de uso); representam o conceito central da classe.
5º	Família	As classes devem ser definidas por meio de atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo ou outros que reflitam condições ambientais.
6º	Séries	É a categoria mais homogênea do sistema, correspondendo ao nível de “séries de solos”, que deverá ser utilizada em levantamentos detalhados e ultradetalhados.

Fonte: adaptado de Ker *et al.* (2015)

O SiBCS é hierárquico e multicategórico, e em seu primeiro nível categórico (ordem), os nomes para cada classe são definidos por seu elemento constituinte e formativo e com a terminação de “solos” (EMBRAPA, 2006). O Quadro 6 traz um resumo de cada classe constituinte das Ordens, sua etimologia e termos conotativos.

Quadro 6 - Definição das Ordens, etimologia e termos conotativos

ORDEM	ETIMOLOGIA	TERMOS DE CONOTAÇÃO E DE MEMORIZAÇÃO
ARGISSOLO	ARGI	Do Latim “argilla”, conotando solos com processo de acumulação de argila. Horizonte B textural.
CAMBISSOLO	CAMBI	Do latim “cambiare”, trocar; conotativo de solos em formação (transformação). Horizonte B incipiente.
CHERNOSSOLO	CHERNO	Do Russo “chern”, negro; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com colocação escura. A chernozêmico; preto; rico em bases.
ESPODOSSOLO	ESPODO	Do grego “spodos”, cinza vegetal, solos com horizonte subsuperficial de acumulação de materiais orgânicos associados à presença de Al e, ou, Fe. Horizonte B espódico.

GLEISSOLO	GLEI	Do russo “gley”, massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água. Horizonte glei; cor cinza; redução.
LATOSSOLO	LATO	Do latim “lat”, material altamente alterado (tijolo); conotativo de elevado conteúdo de óxidos. Horizonte B latossólico.
LUVISSOLO	LUVI	Do latim “luere”, lavar; conotativo de acumulação de argilas. Solo saturado com bases; B textural; acúmulo de argila de alta atividade (Ta).
NEOSSOLO	NEO	Do grego “neos”, novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação. Pequeno desenvolvimento; sem horizonte diagnóstico subsuperficial.
NITOSSOLO	NITO	Do latim “nitidus”, brilhante; conotativo de superfícies brilhantes em unidades estruturais. Horizonte B nítico.
ORGANOSSOLO	ORGANO	Do grego “organikós”, pertinente ou próprio dos compostos de carbono. Conotativo de solos com maior expressão da constituição orgânica, ambientes hidromórficos ou de umidade elevada. Horizonte H ou O hístico.
PLANOSSOLO	PLANO	Do latim “planus”, plano, horizontal; conotativo de solos desenvolvidos sob a influência de encharcamento superficial estacional. Horizonte B plânico.
PLINTOSSOLO	PLINTO	Do grego “plinthos”, ladrilho; conotativo de materiais argilosos, coloridos, que endurecem quando expostos. Horizonte plíntico.
VERTISSOLO	VERTI	Do latim “vertere”; conotativo de movimento de material de solo na superfície e que atinge a subsuperfície do solo (expansão/contração). Horizonte vértico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da conceituação definida no Quadro 6, o Quadro 7 traz a descrição acerca da classificação de cada classe, e concomitantemente, compara com sua primeira versão, utilizada na metodologia de mapeamento geotécnico de Davison Dias (1995), conforme será abordado no item 2.2.3.

Quadro 7 - Classificação acerca das classes segundo a SiBCS 1999-2006

ORDEM	DESCRIÇÃO DO SIBCS (2006)	CLASSIFICAÇÃO DO SIBCS (1999)
ARGISSOLO	Grupamento de solos com B textural, com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O critério para sua identificação é o desenvolvimento (expressão) de horizonte diagnóstico B textural em vinculação com atributos que evidenciam a baixa atividade da fração argila ou o caráter alítico.	Podzólico Vermelho-Amarelo argila de atividade baixa ou alta, pequena parte de terra Roza Estruturada, de Terra Roxa Estruturada Similar, de Terra Bruna Estruturada e de Terra Bruna Estruturada Similar, na maioria com gradiente textural necessário para B textural, em qualquer caso Eutróficos, Distróficos ou Álicos, Podzólico Bruno-Acinzentado, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Amarelo, Podzólico Acinzentado e mais recentemente solos que foram classificados como Alissolos com B textural.
CAMBISSOLO	Grupamento de solos pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente. O critério para identificação é o desenvolvimento de horizonte B incipiente em sequência a horizonte superficial de qualquer natureza, inclusive o horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente deverá apresentar	Esta classe compreende os solos anteriormente classificados como Cambissolos, inclusive os desenvolvidos em sedimentos aluviais. São excluídos dessa classe os solos com horizonte A chernozêmico e horizonte B incipiente com alta saturação por bases e argila de atividade alta.

	argila de atividade baixa e, ou, saturação por bases baixa.	
CHERNOSSOLO	Grupamento de solo com horizonte A chernozêmico, com argila de atividade alta e alta saturação por bases, com ou sem acumulação de carbonato de cálcio. O critério para sua identificação é o desenvolvimento de horizonte superficial, diagnóstico, A chernozêmico, seguido de horizonte C, desde que cálcio ou carbonático, ou conjugado com horizonte B textural ou B incipiente, com ou sem horizonte cálcico ou caráter carbonático, sempre com argila de atividade alta e saturação por bases alta.	Estão incluídos nesta classe a maioria dos solos que eram classificados como Brunizém, Rendzina, Brunizém Avermelhado, Brunizém Hidromórfico e Cambissolos Eutróficos com argila de atividade alta conjugada com A chernozêmico.
ESPODOSSOLO	Grupamento de solos com B espódico. O critério para sua identificação é o desenvolvimento de horizonte diagnóstico B espódico em sequência a horizonte E (álbico ou não) ou A.	Nesta classe estão incluídos todos os solos que foram classificados anteriormente como Podzol e Podzol Hidromórfico.
GLEISSOLO	Grupamento de solos com expressiva gleização. O critério para sua identificação é a preponderância e profundidade de manifestação de atributos que evidenciam gleização, conjugada à identificação de horizonte glei.	Esta classe abrange os solos que foram classificados anteriormente como Glei Pouco Húmico, Glei Húmico, parte do Hidromórfico Cinzento (sem mudança textural abrupta), Glei Tiomórfico e Solonchak com horizonte Glei.
LATOSSOLO	Grupamento de solos com B latossólico. O critério para sua identificação é o desenvolvimento (expressão) de horizonte diagnóstico B latossólico, em sequência a qualquer tipo de A e quase nulo, ou pouco acentuado, aumento de teor de argila do horizonte A para o B.	Nesta classe estão incluídos todos os antigos Latossolos, exceto algumas modalidades anteriormente identificadas como Latossolos plínticos.
LUVISSOLO	Grupamento de solos com B textural, atividade alta da fração argila e saturação por bases alta. O critério para sua identificação é a expressão de horizonte diagnóstico B textural com alta atividade de fração argila e alta saturação por bases em sequência a horizonte A ou E.	Nesta classe estão incluídos os solos que foram classificados pela Embrapa Solo como Bruno Não Cálcicos, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico argila de atividade alta e Podzólico Bruno-Acinzentado Eutrófico e alguns Podzólicos Vermelho-Escuro Eutróficos com argila de atividade alta.
NEOSSOLO	Grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. O critério para sua identificação é a insuficiência de expressão dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação, com individualização de horizonte diagnóstico superficial seguido de C ou R. Predomínio de características herdadas do material original.	Litossolos e Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas, Marinha e Hidromórficas).
NITOSSOLO	Grupamento de solos com horizonte C nítico abaixo do horizonte A. O critério para sua identificação é o desenvolvimento (expressão) de horizonte B nítico, em sequência a qualquer tipo de horizonte A, com pequeno gradiente textural, porém apresentando estrutura em blocos subangulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade	Nesta classe se enquadram solos que eram classificados, na maioria, como Terra Roxa Estruturada, Terra Roxa Estruturada Similar, Terra Bruna Estruturada, Terra Bruna Estruturada Similar e alguns Podzólicos Vermelho-Escuros e Podzólicos Vermelho-Amarelos.

	expressiva ou superfícies brilhantes nas unidades estruturais, ou caráter retrátil.	
ORGANOSSOLO	Grupamento de solos orgânicos. O critério para sua identificação é a preponderância dos atributos dos constituintes orgânicos em relação aos minerais, espessura e profundidade em condições de saturação por água, permanente ou periódica, ou em elevações nos ambientes úmidos altimontanos, saturados de água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.	Nesta classe estão incluídos os Solos Orgânicos, Semi-orgânicos, Solos Tiomórficos de constituição orgânica ou semi-orgânica e parte dos Solos Litólicos com horizonte O hístico com 20 cm ou mais de espessura.
PLANOSSOLO	Grupamento de solos minerais com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (álbico ou não). O critério para sua identificação é a nítida diferenciação entre o horizonte diagnóstico B plânico e os horizontes precedentes A ou E, com mudança textural abrupta ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o B. Compreende solos com restrição de permeabilidade em subsuperfície, que interfere na infiltração e no regime hídrico, com evidências de processos de redução, com ou sem segregação de Fe, que se manifesta nos atributos de cor, podendo ocorrer mobilização e sorção de Na ⁺ .	Esta classe inclui os solos que foram classificados como Planossolos, Solonetz-Solodizado e Hidromórficos Cinzentos que apresentam mudanças textural abrupta.
PLINTOSSOLO	Grupamento de solos de expressiva plintização com ou sem formação de petroplintita. O critério para sua identificação é a preponderância e profundidade de ocorrência da plntita, definindo horizonte diagnóstico subsuperficial plíntico, concrecionário ou litoplíntico.	Estão incluídos nesta classe, solos que eram reconhecidos anteriormente como Lateritas Hidromórficas de modo geral, parte dos Podzólicos plínticos, parte dos Gleis Húmicos e Glei Pouco Húmico e alguns dos Latossolos plínticos. Estão incluídos também outros solos classificados em trabalhos diversos com Concrecionários Indiscriminados, Concrecionários Lateríticos, Solos Concrecionários e Petroplintossolos.
VERTISSOLO	Grupamento de solos com horizonte vértico subjacente a horizonte A. O critério para sua identificação é a expressão e profundidade de ocorrência de propriedades morfológicas resultantes dos fenômenos de expansão e contração do material argiloso constitutivo do solo.	Nesta Classe estão incluídos todos os Vertissolos, inclusive os hidromórficos.

Fonte: adaptado de SiBCS (1999) e SiBCS (2006)

Reconhecida a importância das investigações do subsolo para a caracterização geológica, geotécnica e geomorfológica, deve-se também reconhecer as diversas maneiras pelas quais estas informações são alcançadas e demonstradas. As informações e dados do meio físico podem ser agrupadas em forma de mapas e cartas, formando o processo chamado de

mapeamento geotécnico (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004), cujo estudo em profundidade é apresentado na sequência.

2.2.2 O Mapeamento Geotécnico

O ponto de origem da temática está em 1913, quando em uma feira de construções foram apresentados documentos cartográficos a fim de orientar as construções das cidades de Erfurt e Danzig na Alemanha. A partir destes produtos, começaram-se a agregar novos dados, informações, avaliações e análises do meio físico, para diferentes aplicações na engenharia (ZUQUETTE; GALDOLFI, 2004). Em 1968, a IAEG (*Internacional Association of Engineering Geology*) propôs a criação de uma comissão a fim de desenvolver estudos regulamentadores do mapeamento geotécnico, ascendendo as práticas deste instrumento pelo mundo (FRANCO *et al.*, 2010).

No Brasil, essas práticas iniciaram entre os anos de 1965 e 1966, consolidando-se na década de 1980 com as instituições de pesquisas e universidades produzindo diversas tipologias de mapas e cartas, em diferentes escalas e para diversas finalidades. Neste sentido, houve a necessidade da criação de conceitos para cada tipo e formato de trabalho. Assim fizeram, Zuquette e Gandolfi (2004) trazendo conceitualmente a diferença entre os mapas geotécnicos, plantas geotécnicas e cartas geotécnicas. Conforme os autores, os mapas geotécnicos são representações dos atributos geotécnicos levantados, sem realização de análises interpretativas e sempre em escalas inferiores a 1:10.000. As plantas geotécnicas são representações gráficas realizadas em escalas grandes, maiores que 1:10.000, normalmente voltadas para locais onde serão executadas obras pontuais. Por fim, as cartas geotécnicas representam os resultados da interpretação dos atributos que estão em um mapa, onde são exemplos as cartas de escavabilidade, entre outros.

Dentro destas tipologias, Aguiar (1994) define os mapas como uma representação gráfica dos atributos do meio físico em determinada escala, sem que haja uma interpretação dos mesmos e as cartas se diferenciam por estas incluírem a análise interpretativa, destinada a fins práticos da atividade humana. Dentro desses produtos, o autor conceitua ainda o termo atributo, que diz respeito à uma característica qualitativa ou quantitativa que identifica o componente de um determinado sistema.

Quanto às definições desses trabalhos, a IAEG, pode ser definida como pioneira na temática, e define que o mapeamento e a cartografia geotécnica têm o objetivo de classificar e apresentar dados geológicos da área de estudo, fomentando o equilíbrio homem/meio ambiente

nas atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação. Esta ferramenta, surgida há a mais de um século em países da Europa, integra dados e informações do meio geológico-geotécnico e suas interações com intervenções antrópicas relacionadas ao uso e ocupação do solo (IPT, 2015).

O mapeamento geotécnico, de acordo com Andrade e Ferreira (2017) é um instrumento de planejamento e gestão territorial para obras de pequeno e grande porte, no contexto das obras lineares (estradas, rodovias, muros, etc.) e pontuais (edificações, empreendimentos, etc.), aplicações em geologia ambiental (taludes, vertentes, desastres naturais, etc.) e fornece subsídios para frentes de expansão (EL AAL; MASOUD, 2018) de forma a coletar e analisar sistematicamente os dados do meio físico, gerenciando possíveis problemas decorrentes da implantação dos projetos (XAVIER; BRESSANI, 2019).

Caracterizam-se por ser um documento primordial na gestão urbana para investigações geotécnicas, comportamento do solo, recursos geológicos, avaliações de patrimônio e riscos geográficos para fins de planejamento (CHAMINÉ *et al.*, 2016). Este tipo de cartografia permite a coleta de informações básicas para se constituir como instrumento de planejamento territorial, definindo importantes diretrizes no desenvolvimento urbano de um território, facilitando e otimizando setores socioeconômicos e se as decisões *a priori* consideram os riscos naturais de determinada área (MARTÍNEZ-GRANA *et al.*, 2013).

No contexto das áreas de risco, essa ferramenta permite ser utilizada como um pré-requisito nos planos de prevenção a riscos e desastres naturais e faz com que os construtores e donos de edificios respeitem as áreas designadas com certo grau de perigo (MOUNA *et al.*, 2016). Como pré-requisito para estas áreas, a elaboração dos mesmos permite um maior detalhamento, identificando com precisão os movimentos de massa provocados por processos naturais, por decorrência de formação geodinâmica ou pela ação antrópica (ROSOLEM *et al.*, 2016).

Dentro do processo de planejamento territorial devem estar contidos os trabalhos de mapeamento geotécnico, haja vista que este processo exige ferramentas específicas ligadas às características do território em que se pretende planejar, já que mapear geotecnicamente uma área consiste em um trabalho de levantamentos e análises, tanto quantitativas como qualitativas, por meio de seus atributos e suas representações na forma de mapas ou cartas (CAIXETA; OLIVEIRA; NISHIYAMA, 2019).

Ainda no contexto do planejamento, estas análises geológicas-geotécnicas trazem ao processo um grande subsídio, visto que este, utilizado como um documento norteador para projetos, tanto de expansão territorial, como de locação de obras civis, atua na análise de

estabilidade das encostas em áreas suscetíveis, implantação de condomínios residenciais, recuperação de áreas degradadas, viabilidade nas implantações de estradas e aterros, cortes e aterros, análise da tipologia das fundações, possíveis locais com fornecimento de material de construção, entre diversas outras aplicações (COSTA; ALVES, 2006).

Os componentes do meio físico devem ser analisados e classificados de acordo com o objetivo de cada estudo. Sendo assim, o resultado cartográfico deve possibilitar a viabilidade de projeto e planejamento. Além disso, é necessário um amplo conhecimento do meio físico e seus comportamentos, para que se possam tomar soluções adequadas aos possíveis problemas (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). Para estes autores, o mapeamento geotécnico pode ser executado por várias metodologias, porém essas deverão sempre atender quando há existência de problemas e para situações de prevenção e gerenciamento de uma área de estudo.

Diante dessas afirmações, as cartas geotécnicas no Brasil podem ser divididas em quatro grupos, segundo Cerri (1990): cartas geotécnicas clássicas, que levam em consideração unidades de análise, ensaios de campo e mapas temáticos, analisados para uso e ocupação do solo; cartas de suscetibilidade, desenvolvidas a partir do processo geológico como fator potencializador do processo; cartas de risco, analisadas a partir das cartas de suscetibilidade, levando em consideração o uso e ocupação do solo como consequência social e econômica e; cartas de conflito de uso, desenvolvidas através do diagnóstico do meio físico, analisando problemas de origem geológico-geotécnica.

Para Nakazawa *et al.* (1991) e Prandini *et al.* (1995) os produtos oriundos do mapeamento geotécnico podem ter diversas finalidades, dependendo das designações e da natureza do terreno. Destarte, os autores definem quatro tipos de cartas: cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de risco geológico, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros.

As cartas geotécnicas (propriamente ditas) para Nakazawa *et al.* (1991) e Prandini *et al.* (1995) expõem as limitações e potencialidades dos terrenos, estabelecendo as diretrizes de ocupação frente às formas do uso do solo. As cartas de risco geológico preponderam a avaliação de dano potencial à ocupação, frente a uma ou mais formas de uso. As de suscetibilidade informam sobre a potencialidade de ocorrência de um ou mais fenômenos geológicos e de comportamentos indesejáveis. E por fim, a de atributos ou parâmetros apresentam informações geográficas de interesse ao uso e ocupação do solo.

Bitar, Cerri e Nakazawa (1992), enfocando para fins de uso do solo urbano, identificaram quatro tipos de cartas geotécnicas: cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico.

Os autores trazem como conceito das cartas geotécnicas dirigidas a identificação de problemas da natureza geológico-geotécnica decorrentes do uso do solo, expõe as limitações e potencialidades dos terrenos; estabelecem alternativas de solução destes problemas, apontam as diretrizes para o adensamento e a expansão da ocupação ante uma ou mais formas de uso urbano do solo. Para as cartas geotécnicas convencionais, a distribuição geográfica das características dos terrenos, a partir de atributos do meio físico e de determinados parâmetros geológico-geotécnicos, muitas vezes não consideram as interações existentes entre o meio físico e as diferentes formas do uso urbano do solo.

Em relação as cartas de suscetibilidade, Bitar, Cerri e Nakazawa (1992) afirmam que estas devem indicar a potencialidade de ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso urbano do solo, expressando as suscetibilidades, segundo classes de probabilidade de ocorrência. E as cartas de risco geológico, que objetivam preponderar a avaliação de dado potencial à ocupação e expressar, segundo diferentes graus de risco, resultantes da conjugação da probabilidade de ocorrência de manifestações geológicas naturais e induzidas e das consequências sociais e econômicas decorrentes.

Por ser aplicado em vários países, o mapeamento geotécnico trouxe uma gama de metodologias e/ou adaptações dos principais métodos consolidados pelo mundo, justificando-se pela variabilidade geográfica e pela alta variedade de tipos de solo (HIGASHI, 2006). De forma a realizar os trabalhos de mapeamento geotécnico, constam-se na bibliografia diversos métodos para se chegar aos resultados determinados. Diante disto, a partir de agora estas metodologias serão abarcadas e conceituadas, de forma a delimitar os principais modelos internacionais (Quadro 8) e do Brasil.

Quadro 8 - Principais metodologias internacionais de mapeamento geotécnico

MÉTODO	DESCRIÇÃO DO MÉTODO
MÉTODO FRANCÊS	Método consolidado após a publicação dos resultados de um levantamento realizada na França. Os atributos analisados englobam a geologia, geomorfologia e a geotecnia. Os documentos necessários para a concepção das cartas/mapas são mapas da área de estudo, limites e demais documentações, substrato rochoso, materiais de cobertura, cartas hidro geológicas e geomorfológicas. Tem a finalidade de mapear regiões e situações locais.
IAEG	A IAEG consolidou seu método em meados de 1968, através de uma comissão formada por diversos membros. O método busca abarcar um modelo que possa ser aplicado em diversos países, buscando a viabilidade técnica e socioeconômica. Deve ser analisado o caráter das rochas e solos, hidrogeologia, geomorfologia e fenômenos geodinâmicos. As principais técnicas utilizadas para a obtenção dos parâmetros são foto geologia, sondagens, métodos geofísicos, amostragens, ensaios <i>in situ</i> e laboratoriais.

MÉTODO PUCE	Originado na Austrália, objetiva dividir a área de estudo em classes de terrenos hierarquizadas a partir de características gerais (geológico-geomorfológico). A primeira classe diz respeito às províncias, que abarcam a geologia local. A segunda define o padrão do terreno, ou seja, aspectos de paisagem, características básicas do solo, vegetação, rochas e padrão de drenagem. Terceiramente, são definidas as unidades do terreno, trazendo as formas do relevo, principais características dos solos, rochas e formações vegetais. Por fim, são determinadas as componentes dos terrenos, trazendo aspectos do tipo de talude, litologia, solo e associação de vegetação.
MÉTODO ESPANHOL	Por volta de 1950 a Espanha deu início aos trabalhos de mapeamento geotécnico, ganhando força a partir do ano de 1967 com o 3º Plano de Desenvolvimento Espanhol. O objetivo destes trabalhos era subsidiar o desenvolvimento territorial, industrial e urbano. A metodologia baseou-se em uma análise sistemática de diversas outras metodologias aplicadas em outros países, contextualizando a mesma para o país. Estes mapas são divididos em quatro grandes grupo: os gerais (em escala 1:200.000), básicos (em escala 1:25.000), seletivos (em escala 1:5.000) e os específicos (em escala 1:2.000). Estes produtos devem subsidiar o planejamento e fornecer informações para qualquer tipo de obra de engenharia.
SISTEMA ARDA	O objetivo principal do Sistema de Geoinformação do Inventário de Terras do Canadá (ARDA) é classificar as diferentes localidades quanto à capacidade de uso e aptidão para diversas atividades. São oito classes, variando desde “boa capacidade” até “incapacidade”, para cada objetivo considerado. Verificam-se por meio desta metodologia, a adequação do solo para a agricultura, reflorestamento e recreação, e a vocação do terreno para a vida silvestre. Os dados geoambientais são armazenados juntamente com atributos socioeconômicos. O sistema não é muito utilizado para fins de planejamento territorial, mas o método de processamento de dados automático é interessante.
METODOLOGIA CANADENSE	Objetiva analisar áreas para disposição de aterros sanitários (leva em conta a topografia, se possível em três dimensões, o substrato rochoso, materiais de cobertura, sistemas de drenagem, cortes estratigráficos e registros de águas subterrâneas) e para multi informações regionais (formas de terreno, compreendendo a origem e variações, tipos de materiais, topografia e drenagem).
METODOLOGIA SUIÇA	Baseia-se da metodologia PUCE e em alguns sistemas americanos. Segue as premissas que os terrenos que estão sob condições climáticas e que são desenvolvidos pelos mesmos grupos de eventos, têm características geotécnicas similares. Devem ser observados os processos de formação do ambiente geológico, variações eustáticas e isostáticas, topografia, geomorfologia, drenagem e hidrologia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e dados geotécnicos pré-existentes.
METODO EUA	Desenvolvido inicialmente na região de Nova Jérsei, tem como finalidade subsidiar o planejamento inicial para projetos de engenharia longitudinais (estradas, rodovias, ferrovias, etc.), planejamento preliminar de aeroportos, inventário e registro de materiais para construção, viabilidade de pavimentação, entre outros. Inicia-se com uma análise geológica, agrônômica e de fotografias aéreas, subsidiando desta maneira, a escolha dos pontos de retiradas das amostras. A partir disso, retiram-se as amostras, ensaiam-se outras em laboratório e correlacionam-nas com dados bibliográficos. Destarte, pode-se delimitar as unidades geotécnicas, contendo em cada uma delas suas principais características geotécnicas, dispostos em um relatório técnico.
METODOLOGIA DA GRÃ-BETANHA	Começa-se diferenciando os mapas das cartas. O primeiro é utilizado para escalas menores e as cartas para análises mais detalhadas e locais. O método divide os produtos entre <i>Geotechnical Plans</i> e <i>Engineering Geological Plans</i> , sendo a primeira, uma carta que traz a delimitação das unidades geotécnicas, bem como os tipos de construções permitidas em cada uma delas. Já as <i>Engineering Geological Plans</i> são mapas geológicos que trazem informações adicionais acerca da geotécnica e classificação do solo. Estes documentos, apesar de escassos na Grã-Betanha objetivam subsidiar o planejamento urbano e ordenar as construções civis, aliando tempo, custo e informações adicionais.

MÉTODO DE MATHEWSON E FONT	Objetivam avaliar a adequação dos terrenos frente ao uso e ocupação do solo. O produto final deve apresentar limitações do meio físico à luz da óptica socioeconômica. Os mapas pré-existentes que são analisados são compostos pela topografia, litologia, geologia, tectônica e estrutural, solos agrícolas e drenagem superficial. Na segunda etapa, analisam-se a capacidade de infiltração, resistência à compressão simples, qualidade da rocha, qualidade do solo, estabilidade dos taludes, classificação do solo e recursos de engenharia. Por fim, delimitam-se a adequação para instalações subterrâneas, adequação para estradas pesadas, adequação para depósito de rejeitos, adequação para residências e de riscos geológicos. Com estas delimitações, o resultado final dá-se por um mapa de uso do solo recomendado.
MÉTODO ZERMOS	ZERMOS (Zonas Expostas a Movimentos de Solo) foi desenvolvida pelo serviço geológico francês. É aplicada em áreas com taludes inclinados, mais suscetíveis à deslizamentos de massa de terra. Geralmente são analisadas apenas um evento (deslizamento de terra, queda de blocos, abatimento de terrenos por conta de obras antigas ou situações naturais, etc.). O produto final da metodologia deverá apresentar a tradução de uma análise da área de estudo delimitada acerca de dados de instabilidade revelado pelos dados coletados. Deve definir um zoneamento que gradue o risco, excluindo as previsões no tempo.
METODOLOGIA GASP	GASP (<i>Geotechnical Area Studies Programme</i>) pode ser aplicada em três distintas situações: estudos regionais (escala aproximada de 1:20.000 e áreas entre 50 e 100km ²), estudos distritais estágio 1 (escalas de 1:2.500 e detalhamento de extensão ente 2 e 4 km ²) e estudos distritais estágio 2 (avaliações mais detalhadas do que no estágio 1). O mapa de classificação é baseado em seis grupos: declividade, componente do terreno, morfologia do terreno, condição de erosão, caracterização das encostas e hidrologia. O produto final mais comum é o de uso geotécnico dos terrenos, o qual define e classifica as unidades geotécnicas quanto às possibilidades de ocupação. Estes são elaborados por meio das seguintes informações: informações derivadas dos mapas de uso do solo, densidade de drenagem, feições de escorregamento, erosão propriamente dita, etc. São analisados dados de litologia e ensaios de campo, e por fim, dados morfológicos, quebras de relevo, declividades e mapa de encostas.
MÉTODO DE HINOJOSA E LEON	É aplicada comumente em planejamento de vias de transporte. Objetiva dividir o terreno em unidade morfodinâmicas, relacionando o risco e o tipo de movimento de terra envolvido.
SISTEMÁTICA DE FROELICH <i>ET AL</i> (1976)	Construir mapas que apresentam características do meio físico de maneira a orientar e dirigir sua ocupação. Os dados básicos iniciais são compostos por cartas topográficas, geológicas e de hidrologia. A partir destes dados, é possível delinear a paisagem (forma), os materiais de cobertura e o substrato rochoso. Com a morfologia e os materiais de cobertura, é razoável analisar a estabilidade dos taludes e a partir disso, alegar aptidão ou não para o desenvolvimento da ocupação.
SISTEMÁTICA DE M. HUMBERT	Objetiva o planejamento regional e baseia-se na análise de quatro principais fatores: topografia (morfologia), solo e subsolo, escoamento das águas e drenabilidade e recursos naturais para materiais de construção. Os produtos oriundos da sistemática são cartas clinométrica, de subsolo (espessuras de cada camada, profundidade do leito rochoso e descontinuidades), e hidro geológica. O método é dividido em duas fases, a primeira dá-se pelo levantamento dos seguintes atributos: encostas e estabilidade, qualidade dos terrenos superficiais, profundidade do substrato e das águas. Na segunda fase, contemplam-se o levantamento de coeficientes de planejamento urbano ou industrial, oriundos de análises dos fatores jurídicos, econômicos, geográficos e sociológicos que caracterizam cada zona. Juntando-se os atributos da primeira fase, com os da segunda, é possível delimitar as zonas de expansão das cidades, qualificando cada área como: boa, média, fraca e medíocre.

METODOLOGIA KIEFER	Método criado nos Estados Unidos, tendo como produto final mapas que visam orientar a ocupação, principalmente para fins residenciais, industriais e outros. Estes são denominados mapas de adequação.
SISTEMÁTICA BOTTINO	Criada nas regiões da Itália, a metodologia está apoiada na hierarquização de cinco documentos: cartas geotécnicas de base, cartas temáticas de integração, cartas temáticas de síntese de setor e cartas de síntese geral. Objetiva fornecer dados acerca da instabilidade dos terrenos, recursos para a agricultura, recursos hídricos, recursos de energia e lito minerais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No contexto nacional, as práticas de mapeamento geotécnico iniciaram-se com as publicações do professor Haberlehner entre os anos de 1965 e 1966 no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, e, desde esse marco, os trabalhos foram sendo aprimorados até a intensificação do fluxo em 1988. Diante disso, o departamento de geologia da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) intensificou seus trabalhos em cartografar geotecnicamente os entornos do estado e seus municípios vizinhos, elaborando cartas em escalas de 1:50.000 até maiores que 1:10.000 (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004).

Os trabalhos que serviram de base para estes mapeamentos do Rio de Janeiro foram publicados por Barroso *et al.* (1986) no Congresso Internacional da IAEG em Buenos Aires e por Barroso, Cabral e Matta (1993) no Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia (CBGE) em Poços de Caldas, servindo como artigos seminais na área de mapeamento geotécnico no contexto brasileiro.

Em consonância aos trabalhos da UFRJ, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) objetivou por meio do mapeamento geotécnico oferecer respostas efetivas ao usuário considerando prazos e custos (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). Seu procedimento metodológico pode ser encontrado em Prandini, Nakazawa, Freitas e Diniz (1995). Esta cartografia objetiva resolver os problemas do meio físico, considerando o uso e ocupação do solo, a dinâmica dos processos naturais, os recursos disponíveis e os problemas encontrados (ZUQUETTE; NAKAZAWA, 1998).

Objetivando resolver os problemas do meio físico, considerando o uso e ocupação do solo, a dinâmica dos processos naturais, os recursos disponíveis e os problemas encontrados *in loco*, o produto oriundo desta metodologia pode ser disposto em quatro tipos de carta: cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de atributos ou parâmetros, cartas de risco geológico e cartas de suscetibilidade (PRANDINI *et al.*, 1995).

Juntamente com estas metodologias supracitadas, o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) focou seus trabalhos iniciais nas áreas relativas ao Estado de São Paulo, mapeando arredores de Franca,

Ribeirão Preto, Cuiabá, Ouro Preto e Fortaleza em escalas que variam de 1:100.000 a 1:10.000, com o objetivo principal de integrar todas as fases (obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas) (ZUQUETTE; GANDOLFI, 2004). Este grupo baseou-se nos procedimentos metodológico publicados em Zuquette (1981) em sua dissertação de mestrado (primeira proposta do método de mapeamento), e publicado cientificamente por Gandolfi e Zuquette (1986) no Congresso Internacional da IAEG em Buenos Aires.

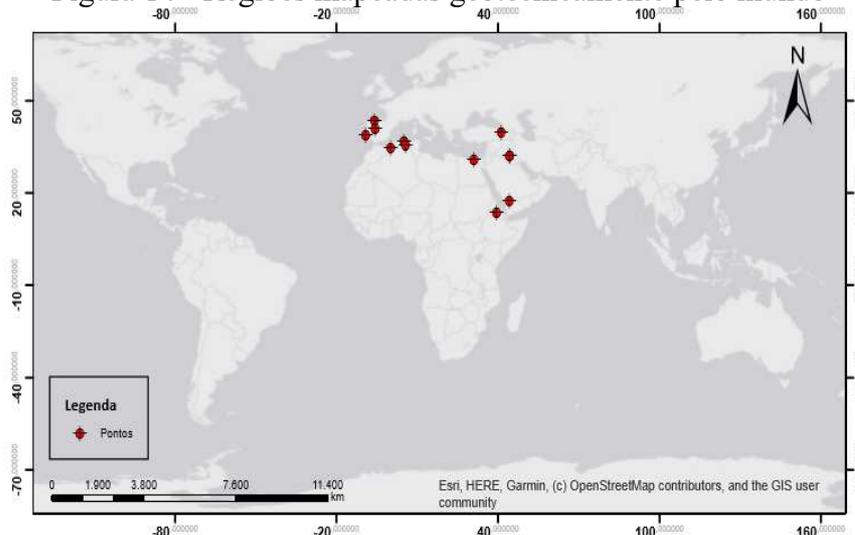
Cabe citar, por conseguinte, a metodologia desenvolvida pela Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) baseado nos pressupostos publicados por Cerri (1990) e validados por Zaíne (2000) na área urbana de Rio Claro (SP), conhecido como Método de Detalhamento Progressivo. Consiste em mapear uma determinada área de estudo seguindo preceitos de aumento progressivo das áreas a serem mapeadas. Contemplam-se, portanto, 3 etapas. A primeira etapa consiste em um mapeamento na escala de 1:50.000 ou 1:25.000, a segunda etapa em um mapeamento de 1:25.000 ou 1:10.000 e por fim, na terceira etapa o mapeamento na escala de 1:5.000 em locais com concentração de informações correlacionadas aos tópicos específicos.

Diante da exposição dos principais conceitos, métodos e objetivos do mapeamento geotécnico, haja vista sua necessidade para o correto ordenamento do território e para análises acerca dos diversos campos da engenharia, os próximos itens buscam retratar os resultados do trabalho feito por Bozio e Jacinto (2020) e Bozio *et al.* (2022) a partir de uma análise bibliométrica do último milênio relacionada à temática.

2.1.1.1 Panorama da produção internacional relativa ao mapeamento geotécnico no novo milênio

A partir da construção de um panorama desenhado a partir do lapso temporal entre os anos 2000 a 2019, segundo Bozio *et al.* (2022), as pesquisas internacionais relacionadas ao mapeamento geotécnico se concentram na região da Europa, Norte da África e alguns países da Ásia. Estas publicações foram levantadas por serem publicadas no idioma inglês. A Figura 14 apresenta os locais onde foram produzidos mapeamentos geotécnicos e divulgados em periódicos.

Figura 14 - Regiões mapeadas geotecnicamente pelo mundo



Fonte: Bozio *et al.* (2022)

Esses estudos trouxeram o mapeamento como subsídio a explicação para os fenômenos de argilas expansivas em zonas de risco (HOUMADI *et al.*, 2009; MOHAMMED *et al.*, 2010; EL AAL e MASOUD, 2018), justificado pelo fato destas áreas estarem contidas em zonas em que o solo sofre longos períodos de cheias e grandes períodos de seca, ocasionando desta forma um inchaço e encolhimento do mesmo (CAMERON, 2006; CLAYTON *et al.*, 2010).

No que tange às temáticas centrais dos trabalhos mapeados, Bozio *et al.* (2022) afirmam que a construção de banco de dados geotécnicos é um dos maiores objetivos dos estudos, buscando contribuir nas investigações geotécnicas locais para emprego de uso e ocupação do solo, geoespacializando por meio de *softwares* SIG os parâmetros geotécnicos para cada área.

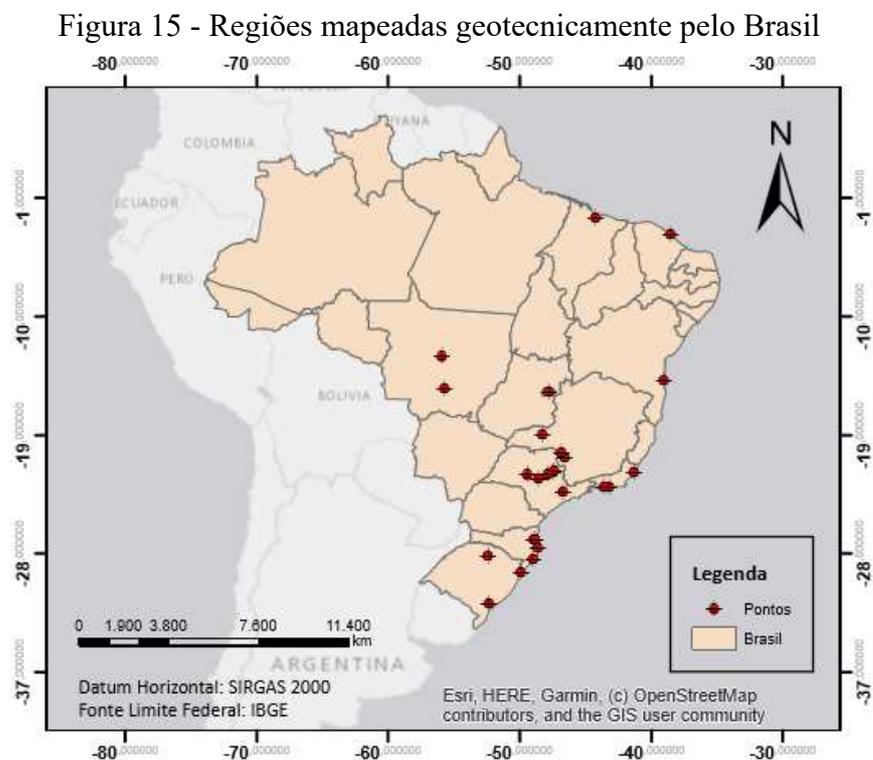
O planejamento territorial é objetivo final destes estudos, trazendo contribuições acerca da otimização da gestão dos planejadores, fazendo com que as etapas de projeto e planejamento observem áreas de risco ou que não gerem custos excessivos às obras de engenharia civil (GURE *et al.*, 2013; MASOUD, 2016), podendo servir como mitigadores e bases para análises de desastres naturais (MARTÍNEZ-GRAÑA *et al.*, 2013), apesar de estes mapas não substituírem análises pontuais para as diferentes obras civis (GURE *et al.*, 2013).

A fim de utilizar estes mapeamentos para análises das fundações, os trabalhos buscam geoespacializar os parâmetros geotécnicos de forma a retirar aspectos acerca das fundações e contribuir com a adoção de medidas preventivas e de controle nos projetos e obras (LILLOUCH *et al.*, 2018; EL AAL; MASOUD, 2018). As áreas de risco também são foco destes trabalhos,

retratando as primeiras estimativas em áreas de deslizamento de terra (HOUMADI *et al.*, 2009) e inchamento dos solos (MOHAMMED *et al.*, 2010). Por fim, são encontrados trabalhos relacionados à movimentos de massa, riscos sísmicos e suscetibilidade de solos.

2.1.1.2 Panorama da produção nacional relativa ao mapeamento geotécnico no novo milênio

A partir da geoespacialização dos pontos estudados (Figura 15), nota-se uma prevalência em áreas estudo localizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.



Fonte: Bozio *et al.* (2022)

Relacionado aos autores brasileiros que mais publicaram (publicaram mais de um trabalho no lapso temporal entre 2000 e 2019), somam-se o total de seis pesquisadores, retratados pelo Quadro 9.

Quadro 9 - Autores brasileiros que mais publicaram sobre mapeamento geotécnico

AUTOR	INSTITUIÇÃO	ÁREA DE ESTUDO	Nº DE PUBLICAÇÕES
Collares, E. G	Universidade do Estado de Minas Gerais	Delfinópolis (MG) e Passos (MG)	2
De Melo, N. A.	Universidade do Estado de Minas Gerais	Delfinópolis (MG) e Passos (MG)	2

Gomes, R. L	Universidade Estadual de Santa Cruz	Ilhéus (BA)	2
Higashi, R. A. R	Universidade Federal de Santa Catarina	São José (SC) e Ilhota (SC)	2
Jacó, A. P.	Universidade do Estado de Minas Gerais	Delfinópolis (MG) e Passos (MG)	2
Lorandi, R.	Universidade Federal de São Carlos	Porto Ferreira (SP) e Rio Clarinho (SP)	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do exposto, foram realizadas pesquisas acerca dos perfis destes pesquisadores, trazendo suas áreas de conhecimento e formação, por meio da Plataforma Lattes do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Frente à análise obtida, pode-se concluir que a formação dos pesquisadores caminha entre as áreas de geologia, engenharia civil e ambiental, permeando-se nas áreas de conhecimento acerca da pedologia, geotecnia, engenharia urbana, cartografia temática, geoprocessamento e para todos os pesquisadores, o planejamento territorial, como área igualmente estudada.

Dentre as universidades que mais realizam estudos sobre mapeamento geotécnico é possível destacar a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), tendo quatro publicações entre os anos de 2000 e 2019, seguidas da UNESP e UFRGS, com total de três publicações, e da UFSCar, UEMG e UnB com duas publicações cada.

Quanto às temáticas abordadas nestes artigos, a maioria deles apresentam como finalidade o planejamento territorial, seguido pelas análises de movimento de massa, aplicação do mapeamento geotécnico para fins traçado de estradas, análises acerca de fundações, ordenamento do uso e ocupação do solo, avaliações ambientais, construção de banco de dados, erosão e resíduos sólidos.

A respeito destas temáticas, o planejamento territorial lidera o ranking. Estes estudos trazem contribuições de forma a subsidiar futuras expansões territoriais (XAVIER; BRESSANI, 2019) de forma a verificar as variações de possíveis ocupações e utilizações do meio físico, bem como às limitações para atividades humanas (SILVA *et al.*, 2000). A partir da coleta de dados, espacializando-os em *softwares* de SIG pode-se analisar informações e pontuar áreas de riscos para mineração, áreas ribeirinhas, drenagem da cidade, entre outras (PONS; PEJON, 2008).

No que tange aos artigos relacionados aos movimentos de massa, a aplicação do mapeamento geotécnico como subsídio à modelos matemáticos de suscetibilidade foram demonstrados por meio dos estudos de Sbroglia *et al.* (2016) e Rosolem *et al.* (2017), contribuindo de forma direta em análises pontuais de deslizamentos de terra, fluxo de deslizamento, haja vista que estes estudos morfodinâmicos podem se associar à caracterização

geológica-geotécnica (AMORIM; ZAÍNE; RODRIGUES, 2017). No contexto do uso e ocupação do solo, seguindo os objetivos do mapeamento geotécnico, Pereira e Zaíne (2007) definiram unidades geotécnicas com aptidão para urbanização e para outras classes de ocupação, e Costa e Alves (2006) especificaram frentes de expansão para a cidade.

Nas análises acerca das fundações dos edifícios, as pesquisas nacionais buscaram caracterizar as áreas de estudos por meio de ensaios geotécnicos definidos. Utilizaram-se parâmetros oriundos de ensaios SPT, CPTu, ensaios de palheta, retirada de amostras indeformadas, ensaios oedométricos e DPL (FOLLE *et al.*, 2008; MARQUES *et al.*, 2016; LUPATINI *et al.*, 2018).

São apresentados trabalhos que contribuem de forma direta nos projetos viários, e que justifiquem a relevância do mapeamento geotécnico para a área de transportes, subsidiando o traçado de rodovias (MASSOCO *et al.*, 2019) e em questões ambientais e de suscetibilidade ao longo das estradas (FERNANDES; CERRI, 2011). Ainda, foram identificadas metodologias que contemplassem parâmetros relevantes para estes tipos de projetos (RIBEIRO; SILVA; BARROSO, 2018).

Ainda sobre avaliação ambiental, o trabalho de Gomes e Teixeira (2011) analisou por meio de mapas geotécnicos áreas possíveis para instalação de postos de combustíveis. Foram aplicadas técnicas de mapeamento geotécnico para análises da erosão do solo (HEIDEMANN, 2014) e para disposição de resíduos sólidos (SILVA *et al.*, 2005).

Dentre os *softwares* mais utilizados para a realização do mapeamento geotécnico à nível nacional, destaca-se o ArcGIS, totalizando 32%. Vale ressaltar que 29% dos artigos não especificam quais *softwares* utilizaram.

Entre os periódicos com maiores índices de publicações (acima de duas) de artigos oriundos de áreas brasileiras, estão a Revista Brasileira de Cartografia (n = 4), seguindo com a Caminhos de Geografia (n = 2), Ciência *et Praxis* (n = 2), Geociências/Geosciences (n = 2), Revista Brasileira de Geociências (n = 2) e a *Soils and Rocks* (n = 2). Partindo-se de uma análise de seus escopos, percebe-se uma aproximação às temáticas de ciências humanas, tecnológicas e ambientais, cartografia, SIG, cadastro territorial, geodésia, fotogrametria, hidrografia, sensoriamento remoto, engenharia geotécnica, geológica e do desenvolvimento territorial. Portanto, áreas correlatas às geociências.

Por motivos de contexto da aplicação deste estudo, e pelas comprovações de análises bibliométricas de Bozio e Jacinto (2020), a metodologia para mapeamento geotécnico em solos tropicais e subtropicais desenvolvida por Davison Dias (1995) será, a partir de agora, detalhada.

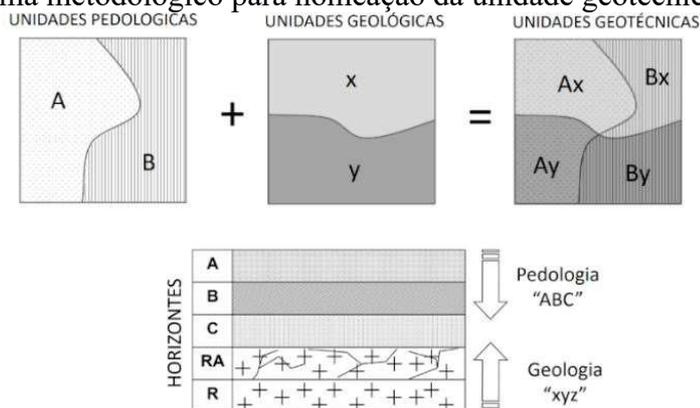
2.2.3 A Metodologia de Davison Dias (1995)

Mais de 80% do território brasileiro é constituído por solos tropicais e subtropicais, sendo estes, tipos de solos que indeferem da maioria dos solos estudados na bibliografia (DAVISON DIAS, 1995). Por ser esta metodologia a mais empregada na região sul do Brasil, o presente estudo recorta seu objetivo neste método de mapeamento geotécnico.

Davison Dias (1995) apresenta a cartografia geotécnica como um conjunto de métodos e técnicas para enquadrar unidades territoriais homogêneas de maneira a subsidiar por meio de informações técnicas o uso e ocupação do solo. Estes atributos estão divididos por meio da distribuição das propriedades dos solos e das rochas, água, características topográficas e processos geodinâmicos. Em resumo, a metodologia sugere os estabelecimentos de unidade geotécnicas por meio do cruzamento entre dados pedológicos (estes, extraídos da litologia) e de dados geológicos.

Conforme Davison Dias (1995), para cada zona geotécnica, a geologia infere as características do horizonte de alteração da rocha (horizonte saprolítico), já a pedologia, infere características acerca dos horizontes mais superficiais. A autora define as unidades geotécnicas como zonas homogêneas, com características similares frente ao uso e ocupação do solo. Para nomear estas unidades, de forma padronizada, o trabalho de Davison Dias (1995) define o esquema ilustrado pela Figura 16.

Figura 16 - Esquema metodológico para nomeação da unidade geotécnicas - Davison Dias



Fonte: Higashi (2006)

Na Figura 16, sobrepõe-se o mapa pedológico (definido em unidades pedológicas, ou seja, solos com características semelhantes e classificados igualmente) e o mapa geológico (definido em unidades geológicas, rochas com características semelhantes e classificadas igualmente), e tem-se como resultado as unidades geotécnicas, ditas preliminares.

A autora define as unidades pedológicas (horizontes superficiais A e B) com letras maiúsculas “ABC” e a unidades geológicas (horizontes C, RA e R) em letras minúsculas “xyz”, e como resultado, a junção das duas nomenclaturas “ABCxyz” (unidade geotécnica). Na classificação geológica, caso haja mais de uma litologia, a rocha dominante será a válida.

A pesquisadora definiu uma nomenclatura tanto para a classe pedológica (Quadro 10), quanto para a classe geológica (Quadro 11).

Quadro 10 - Nomenclatura da classe pedológica

SIGLA	CLASSIFICAÇÃO	SIGLA	CLASSIFICAÇÃO
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areia Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acidentado
B	Brunizém	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BV	Brunizém Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Vermelho-Escuro	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna-Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo	-	-

Fonte: Davison Dias (2001).

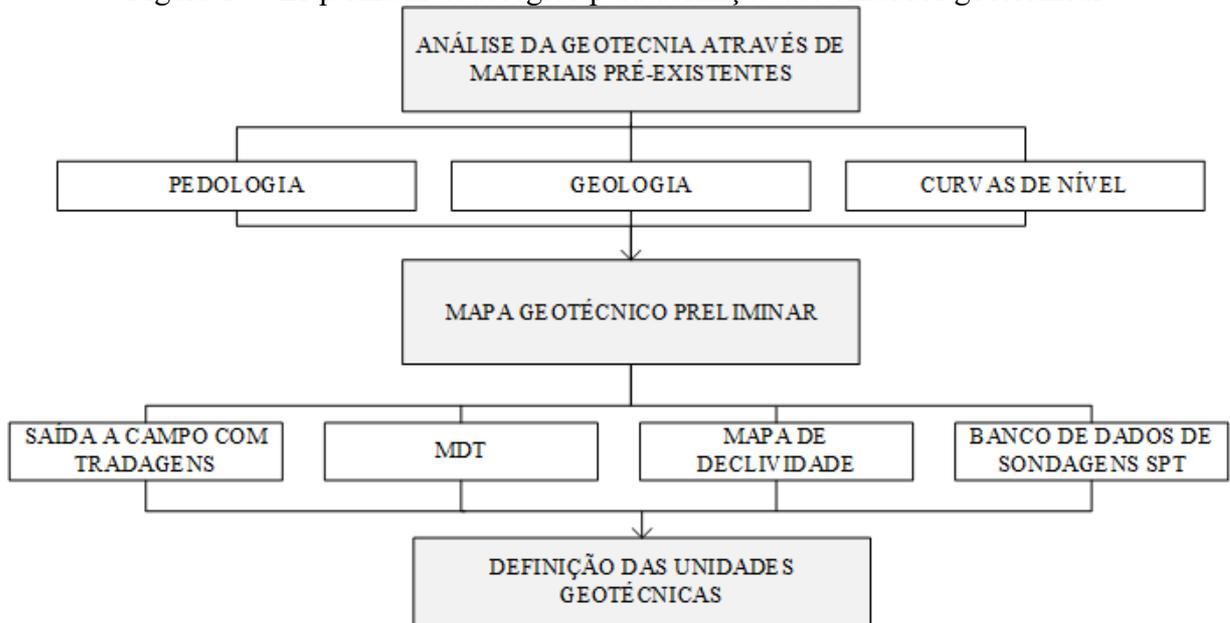
Quadro 11 - Nomenclatura da classe geológica

SIGLA	CLASSIFICAÇÃO	SIGLA	CLASSIFICAÇÃO
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitóide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo Metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos Quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos Terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Fonte: Davison Dias (2001).

Para identificar o conteúdo do projeto do BDG, foi estudada a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995), posteriormente, aprimorada por Higashi (2006), sistematizadas pelo fluxograma da Figura 17.

Figura 17 - Esquema metodológico para definição das unidades geotécnicas



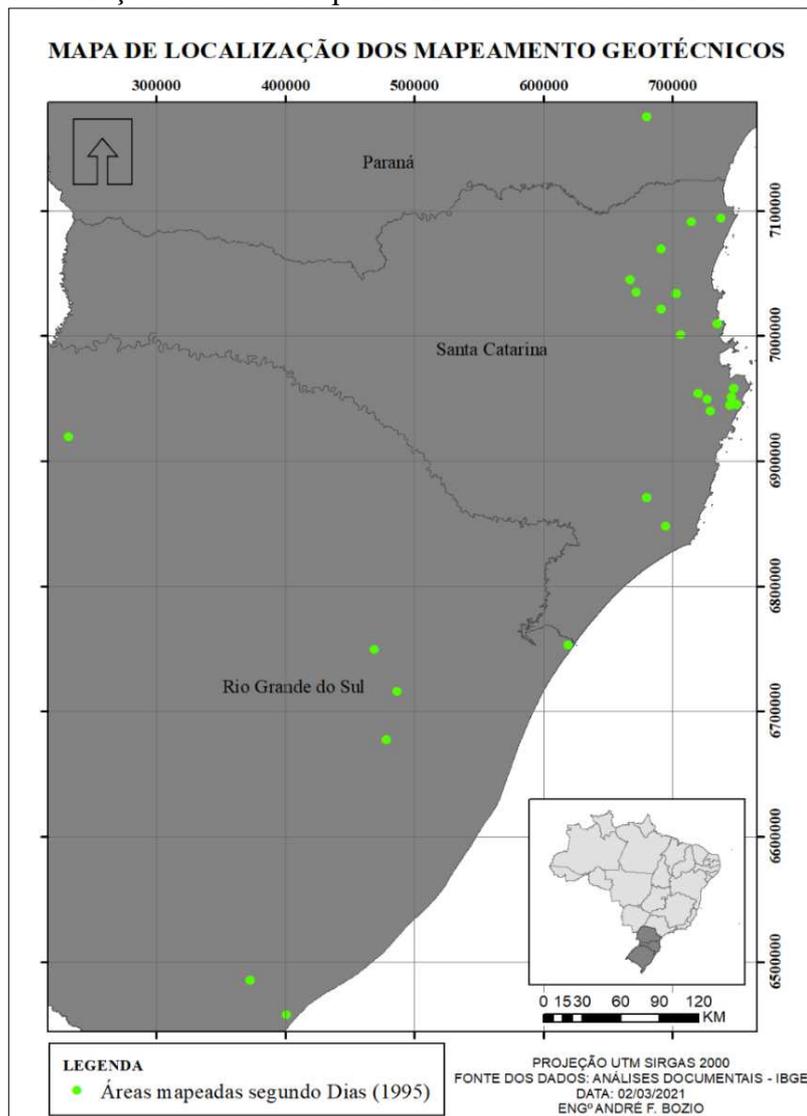
Fonte: Adaptado de Davison Dias (1995) e Higashi (2006).

Diante do esclarecimento acerca destas metodologias, o próximo item abordará uma síntese da produção científica que trazem este método como norteador do mapeamento geotécnico.

2.2.3.1 A Metodologia de Davison Dias: Estado da Arte

Com o objetivo de nortear o levantamento de estudos que utilizaram desta metodologia para realização do mapeamento geotécnico, algumas diretrizes foram levadas em consideração. Na amostra final, constituída de trabalhos publicados em periódicos científicos, seminários e conferências, além de teses e dissertações, foram identificados 52 trabalhos que realizaram mapeamentos geotécnicos seguindo esta metodologia. O Mapa 1 ilustra onde estes estudos foram realizados.

Mapa 1 - Localização dos estudos que utilizaram o método de Davison Dias (1995)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante desta análise, é possível concluir que a aplicação desta metodologia se concentra na região sul do Brasil, sendo razoável afirmar que a maioria dos estudos se dão pelas Universidades encontradas nesse local.

Em relação às temáticas, abordadas como objetivo final dos mapeamentos, foi possível destacar nove grandes finalidades, observadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Temáticas mais abordadas nos mapeamentos geotécnicos (método de Davison Dias)

TEMÁTICA	Nº DE TRABALHOS
Deslizamentos de Terra	26
Criação de um Banco de Dados	13
Erosão dos Solos	04
Integração de Dados em SIG	03

Aptidão para Fundação	04
Correlação de Ensaios Geotécnicos	02
Estimativas de Recalque	01
Resistividade do Solo	01
Colapsibilidade do Solo	01

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível analisar a grande aplicabilidade do mapeamento geotécnico como subsídio às análises de deslizamentos de terra. Estes trabalhos trazem a definição das unidades geotécnicas por meio do mapeamento mais suscetíveis à deslizamentos, a possibilidade de um talude escorregar, por meio de análises globais (HIGASHI e BIM, 2010).

A partir de grandes desastres naturais ocorridos em 2008, principalmente nas regiões da Micro Bacia do Ribeirão Baú em Ilhota (SC), um grande número de trabalhos de mapeamento geotécnico objetivando as análises de deslizamentos foram realizados (SBROGLIA; HIGASHI, 2013; ROSOLEM, 2014; SBROGLIA, 2015; SANTOS, 2015; AGUIAR, 2018; FLACH, 2020). Esta região tornou-se uma importante área de estudo para aplicações de trabalhos relacionados à esta temática.

Os trabalhos aplicados nesta área de estudo caminham nos objetivos de definir classes de estabilidade de taludes. Tendo como base Davison Dias (1995) para construção dos mapas geotécnicos, foram despendidas análises acerca dos movimentos translacionais rasos, utilizando modelos matemáticos hidrológicos como o SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*) (ROSOLEM, 2014; SBROGLIA, 2015), além do *software* MACStars (AGUIAR, 2018). Além de dados oriundos da modelagem do SHALSTAB, Sbroglia (2015) acrescenta ensaios laboratoriais da área em seu mapa geotécnico, como levantamentos granulométricos, densidade, LP e LL, MCT e permeabilidade e, ainda, laudos de cisalhamento direto.

A partir desta grande quantidade de dados levantados e validados, Santos (2015) realizou uma análise da influência das escalas das bases cartográficas nos resultados finais de mapas de suscetibilidade. Flach (2020) com base em todos estes trabalhos, comparou dois métodos de investigação dos parâmetros geotécnicos (Cisalhamento Direto e BHST - *Bore Hole Shear Test*) e concluiu que para as mesmas condições do solo, os valores obtidos por cisalhamento direto são maiores.

Ainda sobre os estudos de deslizamentos de terra que utilizam subsídios oriundos do SHALSTAB, pode-se citar, na amostra analisada, a aplicação de 16 trabalhos entre monografia, dissertações, teses e artigos científicos. Cabe salientar que são estudos por meio de mapas geotécnicos da referida metodologia. Entre eles Sbroglia e Higashi (2013), Reginatto (2013), Guessier (2013), Rosniecek e Imai (2013), Rosolem (2014), Sbroglia (2015), Santos (2015),

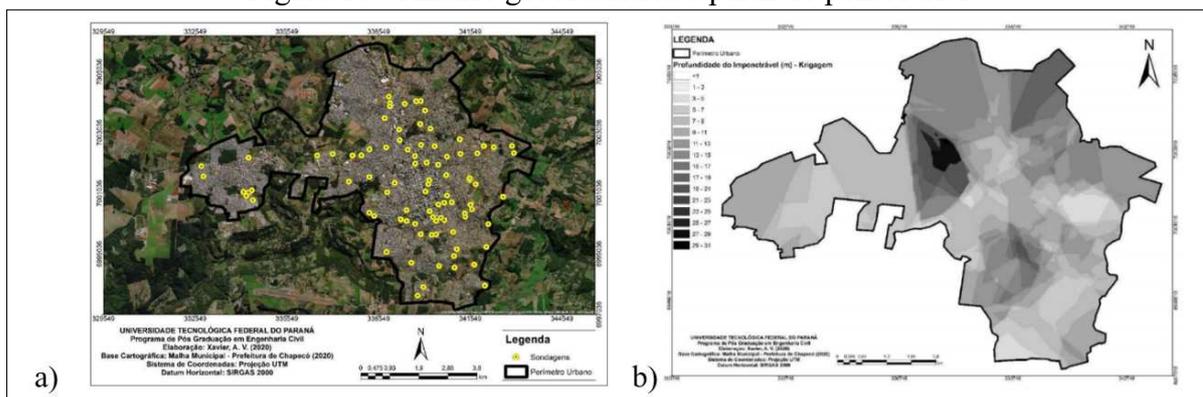
França (2015), Souza (2015), Guessser (2016), Caraméz (2017), Silveira (2017), Costella (2018), Melo (2018), Nau (2018) e Tabalipa (2019).

Seguindo os preceitos do método de mapeamento, como forma de validar a sobreposição dos mapas pedológicos e geológicos, a produção científica traz estruturas de banco de dados geotécnicos, com o objetivo de incorporá-los às unidades geotécnicas. Esses dados permeiam-se por análises *in loco* e laboratoriais, de características geotécnicas.

Algumas características e propriedades como granulometria, limites de liquidez, limites de plasticidade, índices de plasticidade, resistência ao cisalhamento dos solos (ângulo de atrito e coesão), classificação MCT para solos tropicais são base de validação das unidades definidas pelo método de Davison Dias (1995) e podem ser encontradas em Costa Jr. (2001), Silva (2002), Guaresi (2004), Valente *et al.*, (2004), Mafra Jr. (2007), Miranda (2008), Xavier (2010), Scaburri Jr. (2011), Caraméz e Higashi (2011), Isoppo e Colzani (2013), Oliveira (2015) e Souza (2016).

Além disto, grande parte dos trabalhos incorpora em seus mapeamentos um banco de dados acerca de Sondagens Geotécnicas, mais conhecidas como SPT (*Standard Penetration Test*). A Figura 18a esclarece de forma geoespacializada o armazenamento deste tipo de sondagem e a Figura 18b a profundidade do impenetrável por meio de técnicas de krigagem a partir dos pontos de SPT.

Figura 18 - Análise geostatística a partir de pontos SPT



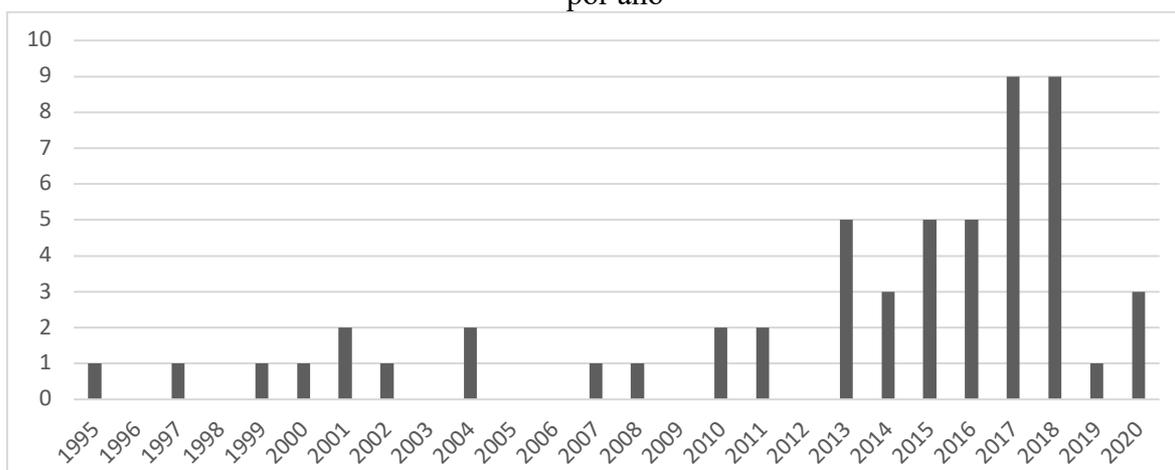
Fonte: Xavier (2020).

A partir da geoespacialização dos pontos de sondagem, com uma integração de uma base de dados por meio de atributos desta classe, é possível utilizar técnicas da geoestatística, como a krigagem, de forma a produzir isolinhas de NSPT, nível do impenetrável à percussão, profundidade piezométrica, tipos de solo, entre outros atributos essenciais e que trazem validade

ao mapa geotécnico primordial. Da mesma forma que estes pontos de SPT são geoespacializados, de forma a subsidiar análises em um contexto contínuo, outras amostras geotécnicas (cisalhamento direto, granulometria, etc.) são feitas da mesma forma.

No universo temporal, de publicações acerca deste método, o Gráfico 4 demonstra um histograma da distribuição de publicações/ano.

Gráfico 4 - Produção bibliográfica de mapeamento segundo Davison Dias (1995) distribuídas por ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

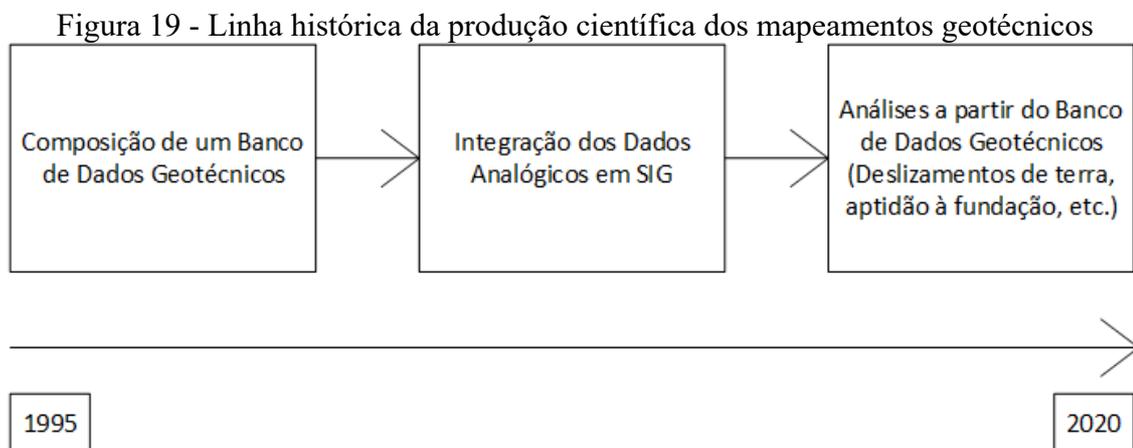
Desde a publicação do trabalho pioneiro de Davison Dias (1995) observa-se uma eminência relacionada à produção e, a partir dos anos, uma ascensão em relação ao volume produzido na área, seguido de uma queda nos anos de 2019 e 2020. Não obstante, em 2017 e 2018 foram encontradas nove publicações, colocando-se como os anos mais produtivos do período analisado, desvelando um aumento do interesse dos pesquisadores pelo tema.

É possível analisar, no decorrer do tempo, que os três primeiros trabalhos depois da publicação de Davison Dias (1995) objetivam a transformação de dados analógicos para o meio digital e integração em ambiente SIG (FERNANDES, 1995; WOLSKI, 1997; DUARTE, 1999). A partir de então, a produção parte dos objetivos de construir bancos de dados das informações geotécnicas, como subsídio às áreas de ocupação, análise da aptidão à urbanização, ou mesmo para controle e armazenamento para futuras construções nas cidades (VALENTE, 2000; COSTA JR., 2001; SILVA, 2002; GUARESI, 2004; VALENTE *et al.*, 2004; MAFRA JR., 2007; MIRANDA, 2008; XAVIER, 2010; SCABURRI JR., 2011; CARAMEZ e HIGASHI, 2011; ISOPPO e COLZANI, 2013; OLIVEIRA, 2015; SOUZA, 2016).

Diante da criação destes bancos de dados por ora apresentados nos trabalhos acima, os esforços começaram a se basear em análises a partir do banco de dados e não com o objetivo

geral de criá-los. A partir de então, começou-se a objetivar compreensões acerca dos deslizamentos de terra e aptidão às fundações (THIESEN *et al.*, 2015; THIESSEN, 2016; SANTOS, 2016, MICHELS, 2020), erodibilidade dos solos (VALENTE *et al.*, 2001, HEIDEMANN, 2014; CARRENO, 2017; VENTURA, 2017), colapsibilidade de solos (CHRIST, 2014), resistividade do solo (MARTINS, 2017) e estimativas de recalques (BETIATTO *et al.*, 2018), utilizando *softwares* específicos e modelagens matemáticas que precisam ser alimentados por meio destes bancos de dados.

A Figura 19 ilustra uma breve linha do tempo e relaciona aos objetivos propostos pelo trabalho, de maneira a delinear o avanço histórico da literatura sobre os mapeamentos geotécnicos de Davison Dias (1995).



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.4 Cartas de Aptidão às Fundações

Em função dos problemas relacionados à mecânica dos solos, o estudo das condições do subsolo (disposição, natureza e espessura das camadas) rege um papel significativo nas bem-sucedidas operações a serem realizadas (CAPUTO, 2018). No texto de Schnaid e Odebrecht (2012) os autores explanam que o reconhecimento do subsolo junto às boas práticas na execução de fundações, por exemplo, é mais valioso do que altos coeficientes de segurança e modelos avançados de cálculos.

Pela alta diversidade e variabilidade de comportamentos entre os diferentes tipos de solos, segundo Pinto (2006), os solos se classificam a fim de identificar os seus comportamentos com finalidade nas mais diversas tomadas de decisão.

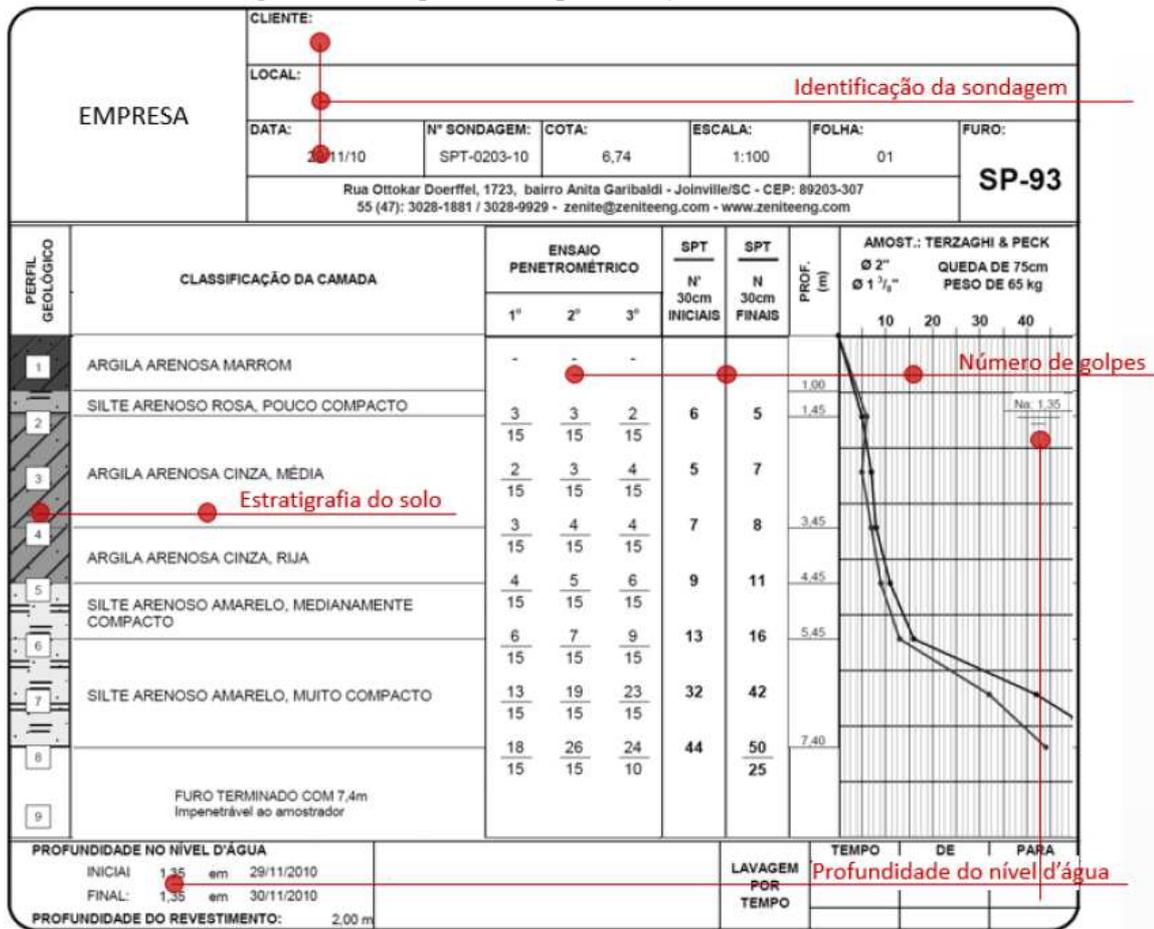
Em uma pesquisa francesa realizada por Logeais, citado por Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) foi analisado dois mil casos em que se verificou o mau funcionamento das fundações, conclui-se que aproximadamente 80% destas teriam suas causas no mau reconhecimento do subsolo. No Brasil, um estudo realizado por Silva e citado também por Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) apontou que 34,5% dos 318 eventos investigados teriam suas causas relacionadas à falta de conhecimento geológico.

São diversas maneiras pelas quais o subsolo pode ser investigado. Uma delas e a mais comum são por meio dos ensaios de campo. O SPT é o ensaio *in situ* mais difundido popularmente pelo mundo, mais econômico e rotineiro, servindo para análises de indicativos de densidade de solos granulares, coesivos e rochas brandas (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012; CINTRA *et al.*, 2013).

Existe uma explicação pelo grande crescimento de trabalhos que abarcam o uso de sondagens SPT. Segundo Almeida e Albrecht (2002) estes laudos são amplamente utilizados nas investigações geotécnicas de quase todas as construções situadas nas zonas urbanas dos municípios, tornando-se desta maneira um grande acervo de informações sobre características do subsolo de diversas cidades, desde que sejam disponibilizadas pelas empresas executoras ou responsáveis técnicos.

A NBR 6484 (ABNT, 2001) traz uma simples definição para o ensaio, sendo ele o responsável pela determinação do índice de resistência à penetração (N). É possível extrair informações como a identificação das diferentes camadas que compõem o perfil, a classificação de cada camada, a profundidade do lençol freático e a resistência à compressão em suas respectivas cotas. A Figura 20 esboça um exemplo da apresentação dos dados coletados pelos amostradores padrão do SPT.

Figura 20 - Esquema de apresentação dos laudos SPT



Fonte: Santos (2016).

De forma a geoespacializar estes pontos, e aplicar por meio deles técnicas estatísticas, os estudos de Kriger foram fundamentais a respeito da krigagem. Este método faz uso de todas as amostras de ensaios em uma determinada área de estudo, para, estatisticamente, traçar um perfil em qualquer ponto em derredor (ANDRIOTTI, 2004; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Portanto, tendo em vista a intenção no aprimoramento do tempo e serviços das equipes de engenharia, dos setores públicos e privados, a compilação destes dados em um único acervo é relevante (NASCIMENTO e LÁRIO, 2020). Os autores afirmam que as ferramentas computacionais são capazes de ler todos estes dados de forma simultânea e organizada.

Diversos trabalhos trazem esta compilação e geoespacialização de dados oriundos de SPT como seus principais objetivos. Al-Jabban (2013) caracterizou o solo da cidade de Hilla, no Iraque, por meio de sondagens SPT. Stalin e Arun Murugan (2015) geoespacializam os dados de SPT para geração de cartas de isovalores do nível de água, do N_{SPT} e de capacidade de carga em diferentes profundidades em uma referida região. Humyra *et al.* (2012) desenvolveram cartas de isovalores de N_{SPT} com o objetivo de auxiliar os construtores em pequenas obras civis com base em 200 furos de SPT.

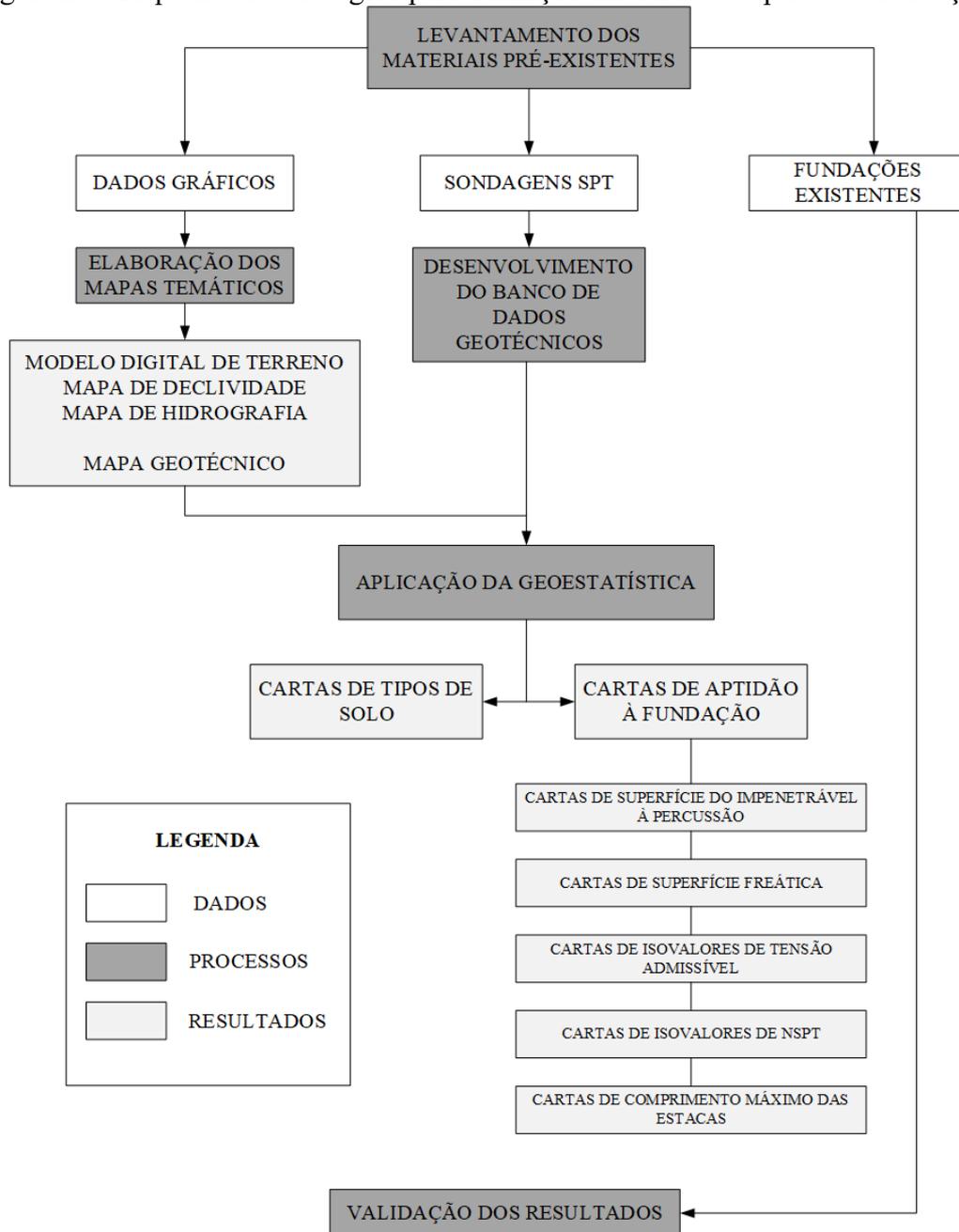
Diante das análises desta pequena amostra de trabalhos, constituída ainda pela produção científica nacional, como de Leite (2015), Moreira *et al.* (2017), Lupatini *et al.* (2018), Borges (2019), Sousa (2019), Michels (2020), Pimentel *et al.* (2020), e outros, a produção científica vem se conduzindo em informatizar a compilação destes dados e criar meios para que estes sejam acessados de forma organizada e otimizada.

Para reforçar estas afirmações, a tese de doutorado de Soares (2011) começa a abarcar conceitos de modelagem de banco de dados geotécnicos, seguindo o formalismo Entidade-Relacionamento de maneira a organizar toda esta quantidade de dados oriundos do subsolo. E atualmente, pesquisas como de Nascimento e Lário (2020) trabalham estes laudos geoespacializados dentro de *softwares* capazes de subsidiar análises pontuais sobre as camadas do solo acerca do N_{SPT} . Diante desta fronteira do conhecimento, estes trabalhos justificam e corroboram com a hipótese desta dissertação, de que, ao organizar de maneira sistematizada o banco de dados correlatos ao universo geotécnico, a informatização do armazenamento e disseminação dos mesmos se dará de maneira promissora, fazendo com que este campo avance.

No que tange às cartas de aptidão às fundações, estes documentos informatizados subsidiarão o armazenamento de dados geotécnicos, e, ainda, dados e informações relacionados às tipologias de fundações cabíveis à cada localidade, juntamente com algumas características do solo e de uso e ocupação. O método para consecução destas cartas está embasado pelos trabalhos de Davison Dias (1995), Higashi (2006), Thiesen, Santos e Higashi (2015), Santos (2016) e Thiesen (2016).

Por meio destas perspectivas metodológicas, com o objetivo de determinar as aptidões às fundações (rasas e profundas), a Figura 21 traz o fluxograma de forma compilada das análises metodológicas realizadas pelos trabalhos supracitados.

Figura 21 - Esquema metodológico para definição das cartas de aptidão às fundações



Fonte: adaptado de Davison Dias (1995), Higashi (2006) e Thiesen, Santos e Higashi (2015)

Para a estruturação da base de dados de maneira a elaborar informações acerca das aptidões às fundações, o banco é projetado de maneira a definir a superfície do lençol freático, camada de impenetrável à percussão, orientações das fundações, isovalores de tensão admissível, isovalores de *NSPT*, comprimentos de estacas e mapa dos tipos de solo. Diante disso, o fluxo se dá pela geoespacialização dos pontos de sondagem.

A partir deste georreferenciamento e, por meio de técnicas geoestatísticas, precisamente com o uso da krigagem pelo seu modelo exponencial (modelo escolhido por ser,

segundo Pescim, Urbano e Demétrio (2010), um dos mais utilizados nas ciências do solo, e pela sua maior suavização nos contornos das superfícies de estudo (SANTOS, 2016)), integra-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) para determinar a profundidade real e dados oriundos da hidrografia para validação com os corpos d'água. Diante disto, é possível construir o mapa de nível do lençol freático. Cabe ressaltar que, diante da variação sazonal do nível pluviométrico, deverão ser abordadas as datas relativas às sondagens.

Por conseguinte, para a construção do mapa de camada do impenetrável a percussão, é considerada a cota do impenetrável (é considerado um N_{SPT} de 50 para situações impenetráveis) e aplicado modelos geoestatísticos de krigagem exponencial e sobreposição com o MDT. Com isto, é possível delimitar o mapa de profundidade do impenetrável.

Ao final, para a determinação da aptidão às fundações (rasa ou profunda) é necessária a geoespacialização do atributo N_{SPT} contido dentro de cada furo do ensaio, gerando as isolinhas de valores (isovalores) de N_{SPT} . A partir disso, com a integração do MDT e por algumas especificações que seguem a literatura, será possível determinar a aptidão às fundações rasas ou profundas.

Para as fundações rasas os critérios adotados são profundidade de assentamento de até quatro metros (apesar de Rebello (2001) indicar que para fundações rasas as profundidades permeiam-se por dois metros. Para este estudo será considerado dois metros a mais para escavações relativas ao subsolo) e com N_{SPT} igual ou superior a cinco abaixo da cota de assentamento. Para situação fora destes parâmetros, as fundações são destinadas à tipologia profunda. Para este tipo de fundação, a cota do nível d'água também é relevante, e para isto, são integrados estes dados nos mapas de aptidão às fundações rasas.

A partir destas especificações, são construídos mapas representando as fundações superficiais nos primeiros quatro metros de profundidade do solo, interpolando os valores N_{SPT} de cada furo e dividindo os mesmo em duas zonas: $N_{SPT} \geq 5$ (parâmetro estabelecido para fundações rasas) e $N_{SPT} < 5$ (parâmetro estabelecido para fundações profundas).

Quatro mapas são desenvolvidos, de 1,00 (um) a 4,00 (quatro) metros de profundidade, geoespacializando por meio de krigagem exponencial para as tensões admissíveis do solo (kN/m^2). Para a determinação das tensões admissíveis do solo, para esta proposta de modelo seguiu-se os parâmetros estabelecidos por Santos (2016) em que a autora definiu a reação dos pilares em 500 kN (50 tf) e sapatas isoladas pré dimensionadas de acordo com as Equações 1 e 2.

(Equação 1)

$$\sigma_a = 0,02 \cdot N_{SPT}$$

$$\sigma_a = \sigma$$

$$\sigma_a = 0,02 \cdot 5 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_a = 100 \text{ kN/m}^2$$

(Equação 2)

$$\sigma = P / A_b$$

$$A_b = B \cdot L = B^2$$

$$B^2 = P / \sigma = 500 / 100$$

$$B \sim 2,2 \text{ m}$$

Sendo:

- σ_a – tensão admissível do solo
- N_{SPT} – índice de resistência à penetração do ensaio SPT
- A_b – área da base da sapata;
- B – base da sapata quadrada;
- L – comprimento da sapata;
- σ – tensão no contato solo-sapata.

Este resultado é oriundo de uma determinação hipotética de carga dos pilares (50 tf) e de uma determinada geometria. Com o modelo do banco de dados estabelecido, é possível que novos mapas sejam apresentados considerando diferentes situações de carga e geometria das fundações.

Diante disto, para as fundações rasas, são determinados os isovalores de tensão admissível do solo, para cada metro de profundidade (por meio da Equação 1). Neste modelo a Equação 1 se limitará a $5 \leq N_{SPT} \leq 20$, adotando-se, portanto, a isobárica de 0,4 MPa (4 kgf/cm²) como limite superior ($N_{SPT} = 20$), e 0,1 MPa (1 kgf/cm²) como o limite inferior ($N_{SPT} = 5$).

Em relação ao bulbo de tensões, dependendo este da geometria da sapata, opta-se neste modelo por não definir uma geometria padrão de fundação superficial. Desta forma, para simplificar, utiliza-se ao invés da média de N_{SPT} no bulbo de tensões, o N_{SPT} na cota de assentamento da sapata. Neste caso, o valor médio pode ser obtido calculando-se a média das tensões admissíveis nas profundidades de abrangência do bulbo de tensão estudado.

No que tange as fundações profundas (estacas), são construídos mapas que representam o mesmo valor de N_{SPT} (isoSPT). Para facilitação da compreensão, as curvas de

isovalores de N_{SPT} são divididas de cinco em cinco golpes. Diante destes resultados, e, considerando o N_{SPT} na cota de apoio das estacas, conforme o Quadro 13. Para isso, os mapas de comprimento máximo de estacas são elaborados.

Quadro 13 - Valores limites de N_{SPT} para a parada das estacas

TIPO DE ESTACA		LIMITE DE N_{SPT} PARA EXECUÇÃO
Pré-moldada de concreto	$\Phi < 30$ cm	$15 < N_{SPT} < 25 \sum N_{SPT} = 80$
	$\Phi \geq 30$ cm	$25 < N_{SPT} \leq 35$
Perfil metálico		$25 < N_{SPT} \leq 55$
Tubada (oca, ponta fechada)		$20 < N_{SPT} \leq 40$
Strauss		$10 < N_{SPT} \leq 25$
Franki	Em solos arenosos	$8 < N_{SPT} \leq 15$
	Em solos argilosos	$20 < N_{SPT} \leq 40$
Estação e diafragma (com lama bentonítica)		$30 < N_{SPT} \leq 80$
Hélice contínua		$20 < N_{SPT} \leq 45$
Ômega		$20 < N_{SPT} \leq 40$
Raíz		$N_{SPT} \geq 60$ (penetra na rocha sã)

Fonte: adaptado de Cintra e Aoki (2010).

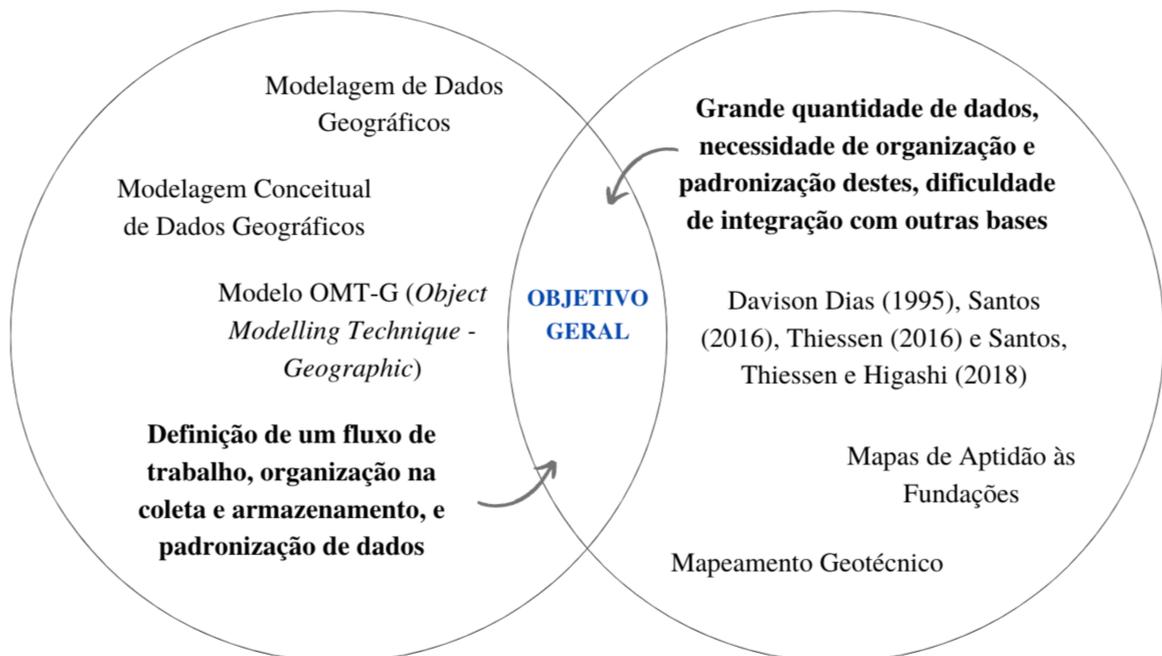
Ao elaborar o banco de dados geológico-geotécnico, de forma a inserir, a cada metro de profundidade, o solo registrado nos laudos de sondagem, segundo a granulometria predominante, é possível desenvolver cartas dos tipos de solo existentes na área de estudo em qualquer uma das camadas que se deseja analisar. Para isso, a interpolação dos furos de sondagem poderá ser viabilizada por meio da adoção de valores numéricos para representar os tipos de solo.

Assim, considerando a granulometria prevalecente em cada camada, aliando valores numéricos aos mesmos, possibilitam a realização das interpolações. É importante mencionar que as regiões que atingirem o impenetrável à percussão serão designadas como rocha.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Sutton e Staw (2003) preconizam que o pesquisador deve explicar a lógica causal que as teorias possuem, fornecendo explicação pelas quais as abordagens utilizadas levam a novas questões teóricas, ou às perguntas que ainda não foram respondidas. Desta maneira, a Figura 22 representa o desenho analítico da pesquisa, cuja função é situar o leitor sobre as decisões teóricas em que se assenta esta dissertação. Vale destacar que a Figura 22 não trata de um modelo a ser perseguido, tampouco validado. O intuito do esquema é apresentar a linha de pensamento que conduz ao objetivo principal da dissertação, ou seja, investigar como se constrói um modelo conceitual de dados aplicado ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações.

Figura 22 - Quadro teórico/analítico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme demonstra a Figura 22, a pesquisa parte do referencial sobre modelagem de dados geográficos, técnica que aborda a abstração de objetos geográficos, sendo esta a primeira razão de existir do trabalho. Para tanto foi definido o modelo OMT-G para produzir o modelo conceitual, considerando que as pesquisas que utilizam tal modelo buscam examinar situações particulares de entendimento sobre como o mundo real pode se comportar dentro de um ambiente informatizado (BORGES, DAVIS JR e LAENDER, 2005). Isso implica acatar uma abordagem qualitativa de pesquisa, mais adequada para acessar as questões subjetivas de cada

objeto geográfico do espaço, considerando que a importância de um modelo de dados é ter um entendimento mútuo a respeito dos dados, que posteriormente poderão estar dentro de um SGBD.

No que tange ao estudo da modelagem de dados geográficos, várias perspectivas foram identificadas na literatura: projetos de banco de dados, definição de cenários para futuras análises, organização de fluxo de trabalho e padronização de dados, entre outras. Diante disso, a construção do modelo conceitual de dados se deu por um desenho de pesquisa sistemática que aumentou a capacidade de representação semântica dos objetos da geotecnia de forma a convergir para o universo de representação.

Abstrair os objetos geográficos do mundo real requer um contexto, ou seja, um recorte observacional. Para isso, cabe salientar que a metodologia de mapeamento geotécnico, incluindo dados relativos às sondagens SPT e fundações existentes, devem possibilitar a construção dos mapas de aptidão às fundações e determinar por meio destes, *a priori*, a estrutura básica do BDG. Constatou-se que estudar a abstração de dados geotécnicos de maneira a sistematizá-los em modelo, de maneira organizada, padronizada e íntegra, transformou-se na principal lacuna que esta pesquisa pretendeu solucionar.

De forma a materializar esta observação, no sentido de diagnosticar o cenário que cerca a temática central da pesquisa, foram definidas as metodologias de mapeamento geotécnico de Davison Dias (1995), criada para o contexto dos solos tropicais e subtropicais e, de Higashi (2006). Em relação às cartas de aptidão às fundações, a metodologia elencada foi permeada por Thiesen, Santos e Higashi (2015), Thiesen (2016) e Santos (2016). Desta forma foi realizada uma extensa revisão de literatura sobre os temas para conhecer as perspectivas abrigadas nestes conteúdos, identificar lacunas de pesquisa e verificar a pertinência de realizar uma dissertação dentro desta temática.

3.1 DEFINIÇÃO DO RECORTE OBSERVACIONAL

Os dados geotécnicos observados, contidos dentro das metodologias supracitadas foram abstraídos como elementos individualizados, mas, ao mesmo tempo, puderam ser enquadrados em um conjunto ou categoria em função de suas semelhanças que, posteriormente, permitiram definir os objetos e classes que deveriam ser utilizados na etapa de modelagem propriamente dita.

No âmbito do mapeamento geotécnico de aptidão às fundações em áreas de estudos bem definidas foi possível inventariar as pesquisas (materiais) que subsidiaram e nortearam a

definição do recorte observacional e as principais naturezas dos dados geográficos e semânticos necessários para produzir os esquemas conceituais. Ver Quadro 14.

Quadro 14 - Síntese de trabalhos definidos no recorte observacional

AUTOR(ES)	OBJETIVO DO TRABALHO
CUNHA (2021)	Elaborar mapas temáticos para o bairro de Canasvieiras, situado ao norte de Florianópolis (SC), assim como desenvolver cartas de aptidão para fundação, a fim de proporcionar um melhor planejamento urbano e do uso do solo para a região.
FELISBINO (2021)	Aplicar o mapeamento geotécnico para geração de cartas de aptidão a determinados tipos de fundações frente às tensões admissíveis do solo com foco na zona de expansão urbana de São José (SC).
MAROSSINO (2021)	Elaborar mapas temáticos de Jurerê, situado ao norte de Florianópolis (SC), assim como desenvolver cartas de aptidão para fundação por meio de um banco de dados de SPT.
MICHELS (2020)	Elaborar um mapa geotécnico do perímetro urbano de Braço do Norte (SC), bem como desenvolver cartas de tipos de solo e aptidão para fundação.
PIMENTEL <i>et al.</i> (2020)	Elaboração de cartas geotécnicas preliminares de fundação por meio de um banco de dados de informações geotécnicas para a região centro-norte da cidade de Fortaleza (CE).
CHRIST (2019)	Melhorar a precisão do mapeamento geotécnico e gerar um mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais e translacionais, para a Ilha de Santa Catarina por meio de um banco de dados geotécnicos oriundos de ensaios de campo e laboratório.
TABALIPA (2019)	Mapear e caracterizar regiões suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos em área de estudo no município de Jaraguá do Sul (SC) por meio de dados digitais pré-existentes e sondagens SPT.
XAVIER <i>et al.</i> (2019)	Mapear a resistência à penetração do solo de Chapecó (SC), através dos valores de N_{SPT} (resistência à penetração dinâmica) extraídos em 70 ensaios de sondagens realizadas em diversas regiões do município.
GOMES (2018)	Caracterizar de unidades geotécnica Gsq da bacia do Rio Papaquara em Florianópolis (SC) baseado no cruzamento de dados de ensaios de sondagem a percussão (SPT) com o mapeamento geotécnico, calculando a capacidade de suporte do solo através do método semi-empírico.
OLIVEIRA (2018)	Construir um banco de dados em SIG a partir de sondagens SPT realizadas no estado do Tocantins, para realizar análises geotécnicas dos solos do estado, com ênfase na capital Palmas (TO).
SANTOS, THIESEN e HIGASHI (2018)	Descrever aplicações dos Sistemas de Informação Geográfica associados com ensaios de SPT como ferramenta de suporte ao planejamento urbano para construção de decisões nas esferas públicas e privadas.
FABRIN (2017)	Construção de um banco de dados de sondagens SPT e ensaios laboratoriais contendo os parâmetros de compressibilidade das argilas moles do litoral catarinense para cálculo provável do recalque, sem que sejam realizados ensaios complexos e onerosos no solo.
THIESEN (2016)	Descrever os procedimentos de tratamento e processamento de dados geotécnicos georreferenciados para a elaboração do mapeamento geotécnico do município de Blumenau (SC) com base na metodologia de Davison Dias (1995) e de mapas de aptidão para fundações com base em um banco de dados de sondagens SPT.
SOUZA (2016)	Descrever os procedimentos de tratamento e processamento de dados geotécnicos georreferenciados para a elaboração do mapeamento geotécnico do município de Blumenau (SC) com base na metodologia de Davison Dias (1995) e de mapas de aptidão para fundações com base em um banco de dados de sondagens SPT.
SANTOS (2016)	Estruturar um banco de dados geológico-geotécnicos espaciais para o Campus sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), situado

	no município de Florianópolis (SC) por meio de sondagens SPT a fim de elaborar um mapa geotécnico de aptidão para fundações e de tipos de solo.
LEITE (2015)	Produzir uma carta geotécnica na escala de 1:100.000 de adequabilidade para fundações indicando a resistência do solo através de dois principais fatores: o número de golpes e o material predominante na sondagem a percussão e a litologia dominante da região de Porto Alegre (RS).
OLIVEIRA (2015)	Estruturar um banco de dados geotécnico espacial de características mecânicas dos solos do lote 4 da rodovia BR-470 (SC).
ISOPPO e COLZANI (2013)	Apresentar um banco de dados associado ao mapeamento geotécnico desenvolvido pela metodologia de Davison Dias (1995) para a ilha de Santa Catarina (SC).
MIRANDA (2008)	Elaborar um mapa geotécnico para a região adjacente à obra de duplicação da rodovia BR-101, entre os municípios de Osório e Torres (RS) por meio de um banco de dados geotécnicos e de sondagens SPT.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

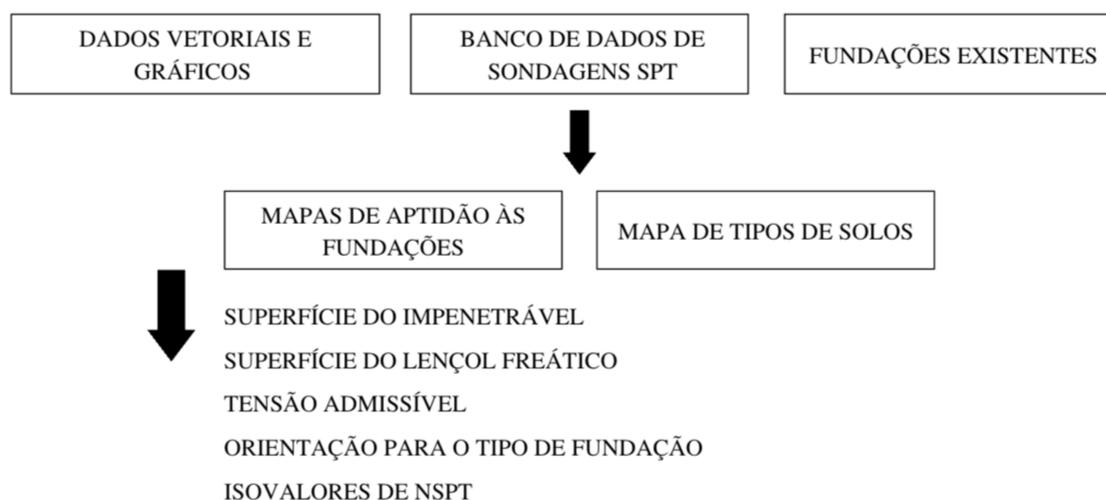
Percebeu-se, corroborando com a lacuna desta dissertação, que para cada trabalho descrito, um novo banco de dados era criado e possuía uma estruturação distinta de banco de dados, principalmente relativo às sondagens. Em alguns deles, descrições de metadados estavam contidos junto aos atributos das classes, por exemplo.

Os ensaios SPT são os mais utilizados no campo da escolha do tipo de fundação (PÊGAS *et al.*, 2022). O estudo dos atributos relacionados ao solo e que impactam diretamente nas características dos mapas para fundações podem ser retirados destes ensaios, conforme os autores. Por ser um dos principais instrumentos para estudos geotécnicos em regiões de interesse, é um tipo de sondagem muito executado no Brasil por profissionais da construção civil, apresentando informações com baixo custo em relação aos ensaios relacionados (XAVIER, 2015; XAVIER; AGUIAR; MENEGOTTO, 2019).

Assim, corroborando às afirmações de Lisboa Filho *et al.* (2000) de que projetistas em etapa de construção de modelos conceituais de SIG reutilizam parte de trabalhos desenvolvidos anteriormente para resolver novos problemas similares e, de Gordillo e Balaguer (1998), quando dizem que o desenvolvimento de novos modelos deve partir de conhecimentos prévios ao invés de sempre partir da “estaca zero”, este trabalho, *a priori*, analisou diversos modelos correlatos aos objetivos desta dissertação.

A partir da análise dos diversos trabalhos realizados sob a perspectiva de construir um banco de dados geotécnicos, especificamente oriundos de SPT para a elaboração de mapas temáticos de aptidão às fundações, foi delineado um esquema metodológico síntese sobre o recorte observacional. Ver Figura 23.

Figura 23 - Esquema metodológico síntese sobre o recorte observacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

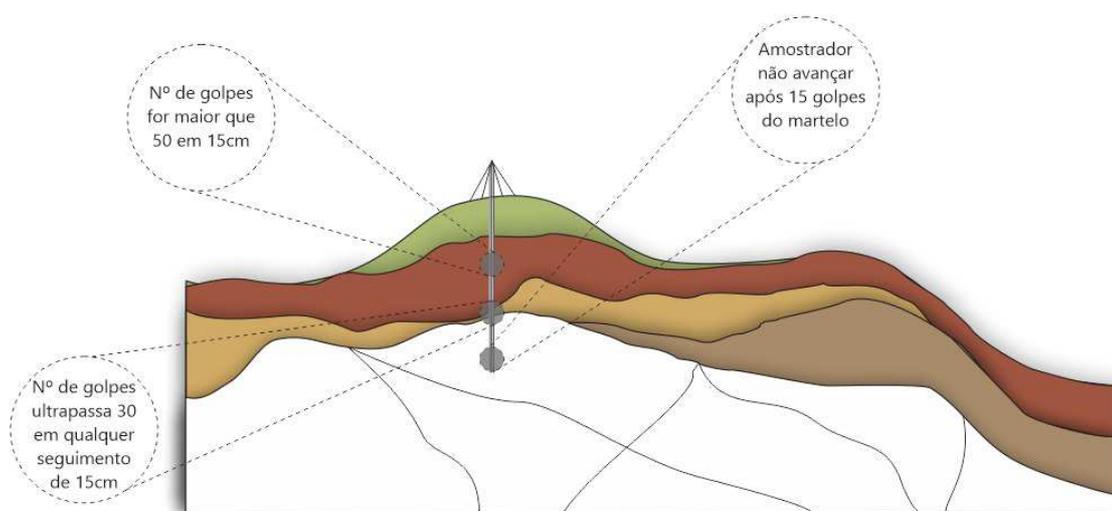
Partindo do pressuposto que a aptidão às fundações, neste trabalho, será o resultado de seis tipos de mapeamentos temáticos (superfície do impenetrável, superfície do lençol freático, tensão admissível, orientação para o tipo de fundação, isovalores de N_{SPT} e mapas de tipos de solo), aliados a um banco de dados de fundações existentes como forma de validar e trazer confiabilidade aos dados geoespacializados, o processo de recorte observacional deu-se pela abstração dos objetos que cada mapa temático possui.

Portanto, como forma de analisar o universo real e abstraí-lo na forma de classes de objetos, com características semelhantes, as análises partiram dos resultados (mapas temáticos de aptidão às fundações). Para isso, o mapeamento geotécnico, segundo a metodologia de Davison Dias (1995), serviu de base de informações das unidades geotécnicas, ou seja, as unidades em que os solos possuem comportamentos homogêneos e semelhantes. Com a sobreposição da pedologia com a geologia (para ambas, suas nomenclaturas estão definidas e padronizadas pelo Quadro 10), onde a pedologia é identificada por letras maiúsculas e a geologia por letras minúsculas. Desta forma, como relacionamento topológico, percebe-se uma sobreposição entre um dado ao outro, originando um terceiro dado ou, neste caso, informação, que serão as próprias unidades geotécnicas (caracterizadas por terem comportamentos geotécnicos semelhantes).

A partir da definição das unidades geotécnicas, as abstrações partiram para os mapas que determinarão as aptidões às fundações. Diante disso, pode-se perceber que o principal dado de entrada são as sondagens SPT. Ademais, todos os estudos contemplados no capítulo de materiais e métodos deste trabalho utilizaram este tipo de ensaios. Dito isto, a escolha deste

ensaio se baseou nestas premissas. Assim, para a consecução destes mapas complementares ao mapeamento geotécnico, traçaram-se imagens para materializar o universo real (BORGES; DAVIS JR.; LAENDER, 2001) objetivando compreender de que forma a abstração seria possível. A Figura 24 demonstra uma observação do mundo real (em corte) relacionado ao impenetrável à percussão.

Figura 24 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do impenetrável à percussão

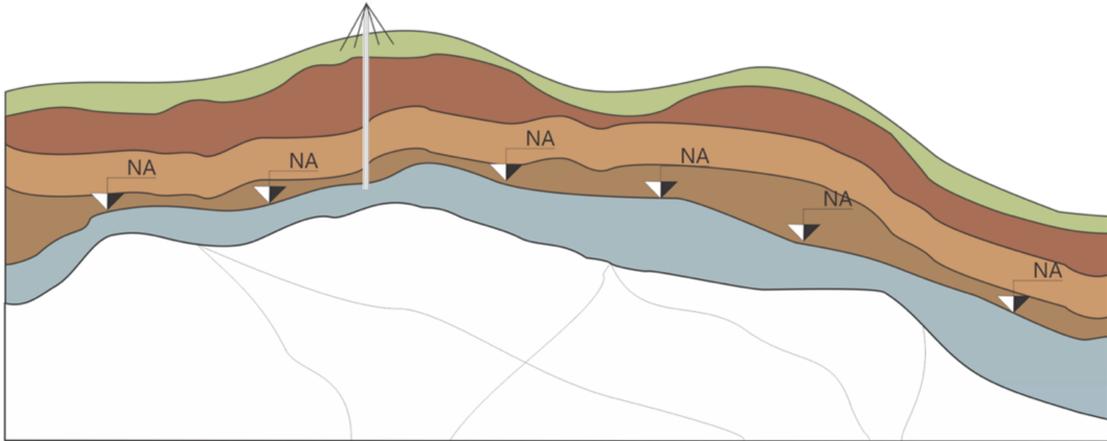


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que há três tipos de paralisação da perfuração constituindo-se como impenetrável à percussão. Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), o primeiro critério do impenetrável é quando em qualquer dos três segmentos de 15 centímetros, o número de golpes ultrapassar 30. O segundo, refere-se quando o número de golpes for maior que 50 em 45 centímetros. Por fim, o último critério constitui-se quando o amostrador não avançar após 15 golpes sucessivos do martelo.

Percebe-se pela Figura 24 que os objetos geográficos que constituem as abstrações são caracterizados pelo próprio furo de sondagem, o qual determinará os dados relativos ao impenetrável e sua profundidade, e a topografia do terreno, ou seja, a altimetria. Em análise aos demais estudos, pode-se perceber que não há distinção do tipo de impenetrável (Santos, Thiessen e Higashi (2018), e trabalhos citados anteriormente). Já a Figura 25 define uma observação da realidade do nível do lençol freático.

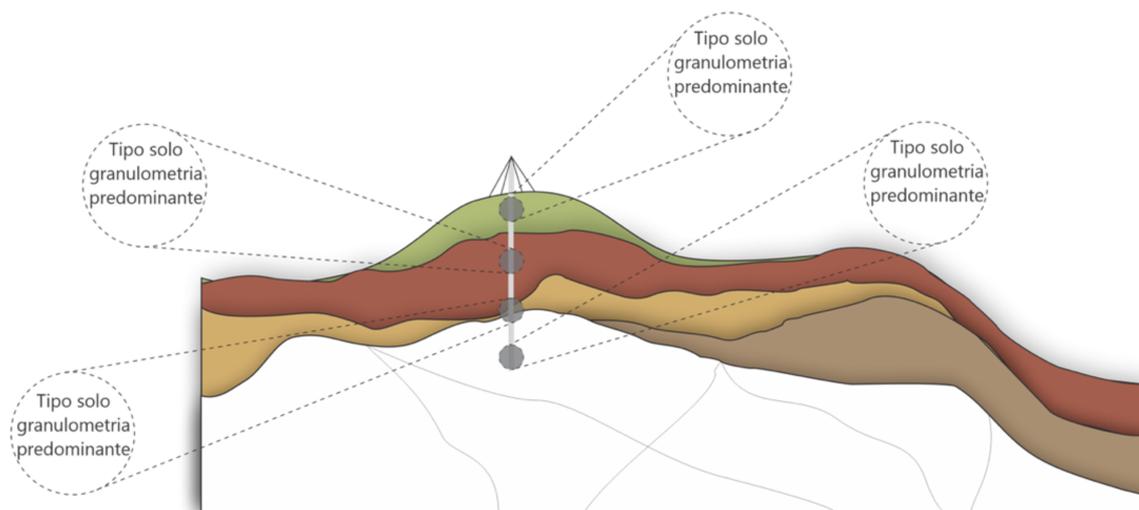
Figura 25 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do nível do lençol freático



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo nível freático ser um importante indicador nas escolhas do tipo de fundações, a Figura 26 apresenta o recorte observacional deste dado. Retirado também dos ensaios SPT, apresentados pelos boletins de sondagem, o nível d'água possui algumas particularidades, principalmente no que tange à data (outro importante atributo no qual interfere em sua posição), pois conforme o estudo de Santos (2016), realizado no *Campus* da UFSC, a sazonalidade se mostrou como um grande impacto na variação dos níveis da água, decorrente do clima e das estações do ano. A NBR 6484 (ABNT, 2020) ainda solicita que a medida do nível do lençol freático seja explicitada no boletim de sondagem com a aferição inicial (após o término da sondagem) e aferição final (após 24 horas). Outro atributo essencial para a consecução desta cartografia é a estratigrafia do solo (tipo do solo), igualmente obtido pelo ensaio. A Figura 26 apresenta este recorte observacional.

Figura 26 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos do tipo de solo



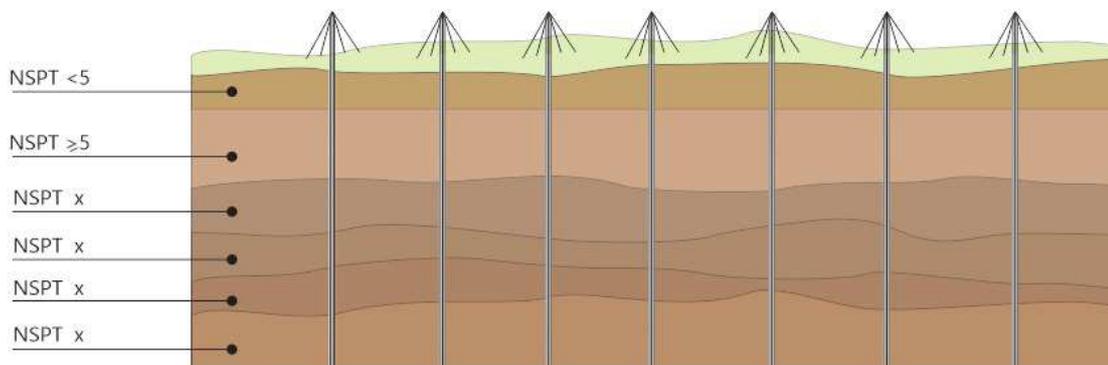
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como cenário dos tipos de solo, pode-se observar que a sondagem SPT apresenta uma descrição realizada de forma tátil-visual pelo próprio sondador. A descrição neste estudo, se dá pela granulometria predominante, e sua padronização levou em consideração trabalhos como de Santos (2016), e Michels (2020). Trabalhos como de Xavier (2020) utilizaram não apenas a granulometria predominante, mas também suas classificações conforme seu estado de compactidade. Cabe salientar que o recorte observacional se restringiu em sua granulometria predominante (argila, silte, areia, pedregulho e rocha). Não obstante, este recorte poderá, em futuros estudos, adequar-se às especificações do usuário do banco de dados, tendo em vista que a caracterização do solo e sua maior especificidade decorre da necessidade de cada pesquisador, ou para qual fenômeno o banco de dados será modelado.

Ressalta-se que por este modelo contemplar a realização de um mapa geotécnico, caracterizações mais específicas do tipo de solo não são necessárias tendo em vista a escolha do tipo de fundação. Entretanto, se o fenômeno estudado fosse, a título de exemplo, suscetibilidade a movimentos de terra, atributos mais específicos como ângulo de atrito interno e coesão entre as partículas se fariam necessários.

Com o objetivo de subsidiar os demais objetivos que tangenciam as aptidões às fundações, o N_{SPT} constitui-se como atributo fundamental. A Figura 27 apresenta o recorte observacional deste atributo.

Figura 27 - Cenário modelado do mundo real para definição de objetos e relacionamentos dos valores de N_{SPT}



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este atributo permitirá, por meio da geoestatística, delimitar valores, por hora pontuais, em superfícies em formato de geo-campos. Assim, para cada furo de sondagem, e, a cada metro de profundidade, é possível, nos últimos 30 centímetros, definir a quantidade de golpes. Este número subsidiará as possíveis geoespacializações e suportará a construção das diversas cartas complementares para a escolha do tipo de fundação.

Com estes universos observacionais do mundo real delimitados, é possível, a partir dos próximos itens, definir se as representações para cada um dos objetos geográficos ou tabelas convencionais que irão compor o banco de dados necessário para a construção dos mapas e a definição de seus relacionamentos, cardinalidades e transformações.

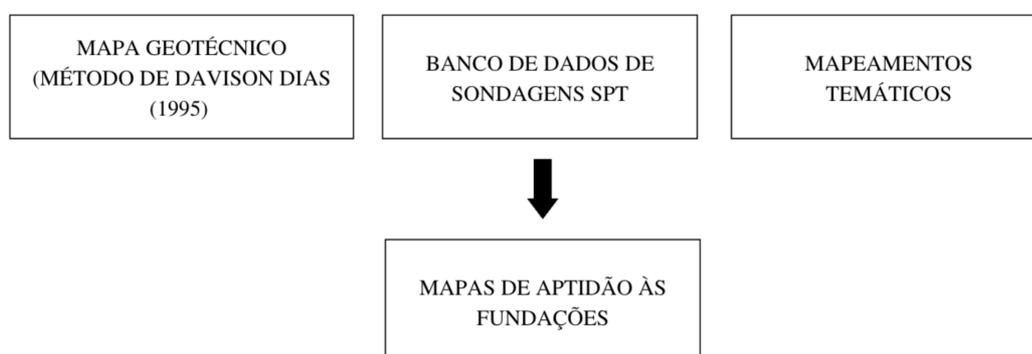
Cabe ressaltar, conforme afirma Hubner (2012), que o processo de modelagem conceitual pode ser realizado após toda a coleta dos dados necessários, mas quando realizado antes da obtenção dos dados seu aproveitamento pode ser ainda maior, pois servirá de referência para o levantamento, identificando o que realmente é importante coletar e que aspectos devem receber mais atenção.

3.2 PRODUÇÃO DE CLASSES, ATRIBUTOS E DOMÍNIOS DOS ATRIBUTOS

Esta etapa contemplou a verificação preliminar dos elementos do mundo real que necessitavam compor o BDG. Para isto, inicialmente realizou-se uma análise de abstrações produzidas por outros trabalhos cujas temáticas envergavam-se sobre este conteúdo. Para esta materialização, triaram-se publicações (artigos científicos, teses e dissertações e livros teóricos) que tinham como objetivo central a construção de modelos conceituais relacionados a dados do ambiente urbano, cadastro técnico multifinalitário e geotecnia.

A gama variada de objetivos, ora por sua abrangência regional ora local, gerou, a partir da metodologia básica do sistema (Figura 28) um conjunto de dados amplo e complexo, devido à natureza e abrangência temporal e espacial dos dados gerados. Estes dados estão distribuídos em diversos meios digitais (SIG) e analógicos (relatórios técnicos). A partir disto, naturalmente, a análise bibliográfica daquilo que já havia sido construído (conceitualmente) sobre estes objetos foi o ponto de partida.

Figura 28 - Esquema básico do universo real a ser modelado e transformado em esquemas conceituais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisaram-se primeiramente as construções metodológicas relativas a temática para adquirir o entendimento do escopo do projeto, ou seja, as variáveis ou fenômenos (coisas) do mundo real que precisariam compor de forma básica os esquemas conceituais. Adiante, foram analisados os trabalhos correlatos, conforme apresentado pelo Quadro 14.

A partir da definição do escopo básico do conteúdo do banco de dados geotécnicos para aptidão às fundações, as pesquisas de Julião e Reginato (2016), Reginato e Julião (2016), Reginato, Hubner e Abati (2018), Hubner, Oliveira e Dal Santo (2013), Hubner (2012) serviram de base para delimitação de como o mundo real poderia ser observado, de forma a analisar os requisitos objetivamente em relação ao propósito deste trabalho.

No sentido de verificar a construção de modelos conceituais sobre dados geotécnicos, as análises puderam ser realizadas através de Valente (2000), Cipullo e Roig (2013), Ribeiro *et al.* (2016), Tegtmeier *et al.* (2014), Priya e Dodagoudar (2018), Amorim *et al.* (2016), Oliveira *et al.* (2021), que serviram como propulsores para, posteriormente, construir o esquema conceitual básico. Vale ressaltar que estes trabalhos auxiliaram de forma mais específica como os objetos de cunho geológico-geotécnico foram modelados por meio do OMT-G.

Pesquisas como a de Amorim *et al.* (2016), que objetivou a construção de modelos conceituais relacionados a fundações existentes, norteou o início do tratamento relativo à abstração destes objetos geográficos. Ainda sobre dados geotécnicos, especificamente, sobre a abstração de ensaios de campo, o trabalho de Oliveira *et al.* (2021) apresentou como um de seus resultados o diagrama de classes para dados geotécnicos tridimensionais, trazendo luz a compreensão sobre este recorte temático.

3.2.1 Definição de classes

As classes foram definidas com base nas primitivas do OMT-G, e estabeleceram-se em três grupos de dados (contínuos, discretos e não-espaciais) que foram encontrados no esquema básico para consecução dos mapas de aptidão às fundações. Desta forma, proporcionaram uma visão integrada do espaço modelado. Ainda, a distinção entre classes que fossem convencionais ou georreferenciadas permitiram que as aplicações facilitassem a integração e reutilização de dados.

As classes foram divididas em dois grupos: as convencionais (que descrevem um conjunto de objetos com propriedades, comportamento, relacionamento e semântica semelhante, e que possuem alguma relação com os objetos geográficos, porém, que não possuem propriedades geográficas) e georreferenciadas (que descrevem um conjunto de objetos que possuem representação espacial e estão associadas a regiões da superfície da terra).

Para as classes georreferenciadas, os padrões de primitivas geométricas (linhas, polígonos, subdivisões planares, tesselação, etc.) foram determinadas, *a priori*, em suas formas mais generalizadas, e a partir de então, suas transformações e/ou múltiplas representações foram realizadas para que a aplicação se tornasse mais específica. Cabe ressaltar que o modelo OMT-G apresenta um conjunto fixo de alternativas de representação geométrica, usando uma simbologia que distingue geo-objetos e geocampos, já apresentado em seções anteriores.

Diante disso, esta etapa contemplou a definição de classes convencionais e georreferenciadas, atribuindo-lhes um nome.

3.2.2 Definição dos atributos das classes

Para a representação dos dados geográficos e convencionais relativos ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações, teve-se de descrever suas variações no espaço e no tempo. Portanto, precisou-se compreender os processos de mensuração da realidade da aplicação,

conforme aponta Searle (1998) quando diz que a realidade existe independentemente das representações humanas e nós temos acesso ao mundo através de nossos sentidos e de nossos instrumentos de medida.

Portanto, a partir das classes definidas, sejam convencionais ou georreferenciadas, foram definidos atributos, que consideraram como base bancos de dados já estruturados para comportar mapas de aptidão às fundações, por meio da análise de trabalhos anteriores. Para a classe de sondagens SPT foi utilizada a norma que a padroniza (NBR 6484 (ABNT, 2020)). Ademais, realizou-se um levantamento qualitativo de boletins de sondagens existentes e executadas (total de 20 relatórios).

Vale ressaltar que esta dissertação se concentra justamente em definir, dentro desses boletins, o que são os objetos (e suas classes), atributos e domínios. Portanto, esta etapa de levantamento de dados existentes, em conjunto das normas de padronização de apresentação destes relatórios, formou a estrutura do banco de dados de sondagens SPT.

Os critérios que precisaram ser levados em consideração, quando da definição dos atributos contidas em cada classe, foram: seu conceito devia ser passível de ser associado a propriedades mensuráveis; estas propriedades poderiam ser medidas no território e deviam permitir diferenciar as diferentes localizações e; os resultados quantitativos e os modelos matemáticos utilizados poderiam ser validados em estudos de campo, que deviam incluir dimensões objetivas e subjetivas do fenômeno em questão.

Os dicionários de dados tiveram por finalidade explicar as nomenclaturas das classes e suas descrições, atributos, tipos de dados de entrada (*integer, double, date, boolean, etc.*), primitiva geométrica da classe, constituindo, portanto, uma etapa relevante anterior à modelagem (COUTO, 2017).

Diante disto, foram identificados cinco artigos que trouxeram em seu corpo este conceito de dicionário de dados. Lago (2006) apresenta um dicionário contendo o nome da classe e sua forma de representação, os atributos juntamente com seu tipo e descrição. Valdevino e Marques de Sá (2013) trouxeram uma tabela contendo o nome da classe, sua descrição e primitiva geométrica, os atributos juntamente com seu tipo, tamanho e descrição. Hubner, Oliveira e Dal Santo (2013) levaram em consideração na elaboração do dicionário os padrões da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) (2005; 2007). Por fim, Oliveira e Oliveira (2019) apresentaram dicionário contendo os atributos de cada classe juntamente com o tipo de dado, possibilidade de valores nulos, número máximo e mínimo de algarismos, valores máximos e mínimos (quantitativos e qualitativos) de cada atributo e frequência máxima dos registros únicos.

Considerando os trabalhos pesquisados e o recorte observacional, para cada classe que contivesse atributos, realizou-se a dicionarização (glossário) de dados, por meio do *Microsoft Word*. Foram utilizadas as seguintes especificações:

- a) **Classe:** identifica o nome da classe documentada;
- b) **Descrição:** apresenta o conceito adotado para a classe;
- c) **Código:** apresenta o código de identificação da classe;
- d) **Temporalidade:** indica o tipo de tempo (intervalo ou instante) no caso de classes temporais;
- e) **Representação da classe:** informa a representação cartográfica recomendada para a classe;
- f) **Atributo:** relaciona os atributos espaciais e descritivos modelados para a classe;
- g) **Tipo:** informa o tipo de dado (alfanumérico, decimal, boleano, etc.) a ser armazenado no BDG para o atributo. Seguindo os preceitos de Hubner (2012), quando o atributo for oriundo de relacionamentos entre outras classes, utiliza-se a sigla FK (*foreign key* – chave estrangeira) adicionalmente ao componente tipo; se for uma classe cujo identificador é chave primária, utiliza-se a sigla PK (*primary key* – chave primária);
- h) **Tamanho:** estabelece o tamanho do campo, ou seja, sua quantidade de caracteres;
- i) **Descrição do atributo:** define o conceito do atributo;
- j) **Domínio:** define os valores quantitativos ou qualitativos para o atributo da classe. Quando não existe domínio, deve-se preencher o campo do atributo.

Com o objetivo de descrever espacialmente e semanticamente, além de codificar e representar todas as classes estabelecidas nos esquemas conceituais, o dicionário de dados (classes) objetivou primordialmente armazenar a descrição detalhada destes esquemas. Através destes dicionários documentou-se a modelagem conceitual do BDG.

3.2.3 Definição dos domínios dos atributos

Com o objetivo de não sobrecarregar as tabelas oriundas dos dicionários de dados da seção anterior, e, tendo em vista a pluralidade de domínios que cada atributo possui, principalmente no contexto geotécnico (pedologia, geologia, etc.), o dicionário de domínios objetivou explicitar os padrões estabelecidos pelo modelo. Dado isto, a produção utilizou o *Microsoft Word* e foi estruturada segundo as seguintes especificações:

- a) **Domínio:** nomenclatura do domínio que será documentado;
- b) **Descrição:** conceitua o domínio (com base na padronização oriundo da bibliografia);

c) **Foto:** apresenta uma imagem ou figura para elucidar o domínio do atributo;

Cabe salientar que imagens e figuras dos domínios são muito importantes para auxiliar a leitura e entendimento dos dados descritos nos dicionários de domínios e, por isto, destinou-se um componente para suprir este viés, que, por hora, dependendo do produtor, podem ser equivocados. Os domínios foram padronizados conforme as metodologias definidas, principalmente nas classes de pedologia e geologia de Davison Dias (1995).

3.3 PRODUÇÃO DOS DIAGRAMAS DE CLASSES E TRANSFORMAÇÃO

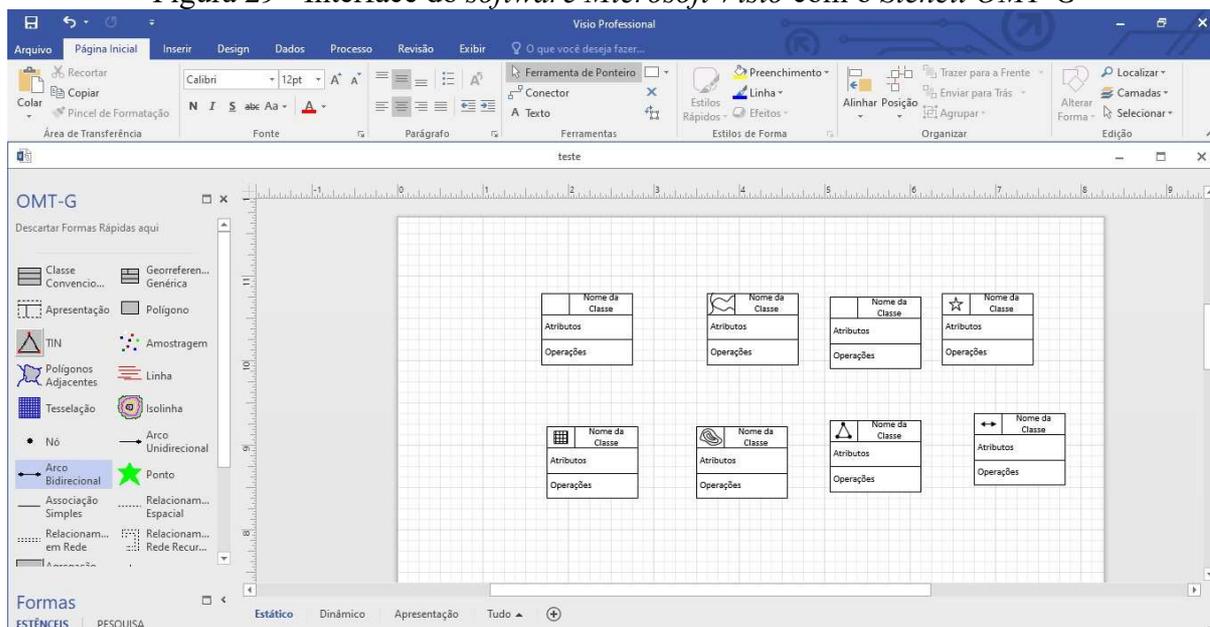
Tendo definido as classes, suas primitivas geométricas, os atributos contidos em cada uma delas, conforme o modelo OMT-G prevê, partiu-se para a estruturação dos esquemas conceituais: definição dos diagramas de classes e transformação.

Para concretização destes, foi utilizado o *software Microsoft Visio* com o *Stencil OMT-G* (Figura 29), que fornece um recurso de modelagem aberto e independente de plataforma e considera 11 classes, já citadas nos itens anteriores, e possibilidade de relacionamentos, que permitiram modelar múltiplas representações para os objetos geográficos e convencionais definidos no recorte observacional.

Para o diagrama de classes foram utilizadas algumas classes já definidas, onde foram também definidos os relacionamentos que cada classe possui com as outras e suas cardinalidades. Por fim, um esquema foi proposto, com a coerente descrição da estrutura e conteúdo do banco de dados, bem como a maneira com que estas representações se relacionam, conforme objetivo elucidado por Davis Jr. e Laender (1999).

No que tange aos diagramas de transformação, visto que o objetivo destes é permitir o desenho de processos de transformação entre representações e a especificação de parâmetros de visualização para os dados espaciais (BORGES; DAVIS JR.; LAENDER, 2001; LIZARDO; DAVIS JR., 2014), foram utilizadas algumas classes já definidas, no sentido de permitir a especificação de transformações entre representação, por meio de um esquema dinâmico. Além disto, o trabalho propôs extensões relativas às especificações de diferentes apresentações visuais para cada representação modelada.

Figura 29 - Interface do software Microsoft Visio com o Stencil OMT-G



Fonte: Microsoft Visio (2022).

Diante das extensões apresentadas por Davis Jr. e Laender (2000) sobre os esquemas de transformação e apresentação, as classes que estavam envolvidas em algum tipo de transformação foram conectadas por meio de linhas contínuas, com setas que indicam a direção da transformação. Os operadores de transformação envolvidos e seus parâmetros, quando houveram, foram indicados por meio de texto sobre a linha que denotava a transformação.

Nestes esquemas de transformação, foi indicado se o resultado desta dinamicidade precisava ou não ser materializado. O modelo englobou algumas agregações espaciais e generalizações cartográficas, para isto foram indicativas da possibilidade de produzir uma representação a partir de outras. Quando o esquema estático possuía agregação espacial, necessitou especificar a operação que seria utilizada para construir o todo a partir das partes.

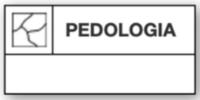
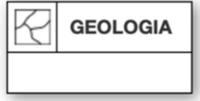
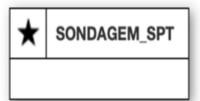
Nesta etapa os operadores básicos de geometria computacional, análise espacial e generalização de mapas definidos por Davis Jr. e Laender (1999) foram essenciais. Estes operadores foram utilizados neste tipo de diagrama (transformação) justamente para transformar uma representação em outra, ou para gerar várias apresentações a partir de uma determinada representação.

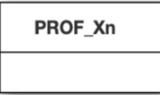
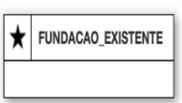
4 RESULTADOS

Considerado o objetivo de *modelar conceitualmente dados geotécnicos, fornecendo um caminho para a estruturação e disponibilização destes, de forma a suportar a produção de mapas de aptidão às fundações*, este capítulo serve à apresentação dos resultados obtidos, e está estruturado da seguinte forma: apresentação das classes definidas, dicionário de dados das classes que possuem muitos atributos, dicionário de domínios dos atributos que apresentaram uma grande quantidade de possibilidades de domínios. Também serão apresentados os diagramas de classe e/ou transformação produzidos com seus relacionamentos e operações inerentes.

Como resultados foram produzidas oito classes primordiais, sendo sete (07) classes georreferenciadas e uma (01) classe convencional, conforme apresentação do Quadro 15.

Quadro 15 - Classes georreferenciadas e convencionais produzidas

UNIVERSO REAL	UNIVERSO CONCEITUAL	PRIMITIVA GEOMÉTRICA (OMT-G)	ATRIBUTOS	DESCRIÇÃO
Pedologia		Subdivisão Planar	TIPO_SOLO	Refere-se à classificação do perfil do solo resultante da ação dos fatores e processos de formação do solo, ou seja, das camadas de aspecto e constituição diferentes denominadas horizontes.
Geologia		Subdivisão Planar	TIPO_ROCHA	Refere-se à classificação da litologia conforme geologia dominante.
MDT		Tesselação	ALT_TERRENO	Refere-se à altitude da superfície desnuda da Terra, sem influência de quaisquer elementos extra (árvores, construções, etc.).
Hidrografia		Tesselação	NA	Refere-se à hidrografia básica do espaço analisado, incluindo rios, lagoas, lagos, entre outros.
Limites territoriais		Polígono	NOME	Refere-se à menor unidade administrativa disponível ou requerida em que o mapeamento se limitará. Limite Territorial pode ser: quadra, bairro, município, entre outros.
Sondagens SPT		Ponto	ID_FURO COORD_E COORD_N DATA H_IMP TIPO_IMP H_NA ALTIMETRIA	Refere-se ao ponto geográfico onde foi realizada a Sondagem SPT.
		-	ID_FURO NSPT_X	

Profundidades dos laudos de sondagem SPT			TIPO_SOLO	Refere-se à tabela convencional relacionada ao ponto da Sondagem SPT, por metro.
Fundações Existentes		Ponto	ID_FUND COORD_E COORD_N USO SUPERESTRUTURA TIPO_FUNDACAO EXIST_SUBSOLO	Refere-se ao tipo de Fundação Existente e a elementos básicos para escolha e projeto desta estrutura.

Ao observar o Quadro 15 pode ser verificado que as classes relativas à pedologia, geologia, MDT, hidrografia e limite territorial, por possuírem poucos atributos, não tiveram dicionário de dados produzidos. As demais classes relativas à sondagem SPT, Prof_Xn e fundação existente tiveram dicionário de dados elaborados.

No Quadro 16 estão sendo apresentados os atributos definidos para a classe “SONDAGEM_SPT” através de dicionário de dados.

Quadro 16 - Dicionário de Dados da classe “SONDAGEM_SPT”

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica		Representação
SONDAGEM_SPT	Refere-se ao ponto geográfico de investigação do subsolo pelo método <i>Standard Penetration Test (SPT)</i> .			Ponto		
Atributo	Tipo de dado	Tamanho / Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Exemplo
ID_FURO	Integer	6	NO	Código numérico do furo de sondagem (chave primária – <i>primary key – pk</i>)	A ser preenchido	Identificador único (Ex: 000001)
COORD_E	Float	9/2	NO	Coordenada leste do furo da sondagem em projeção plana	A ser preenchido	Ex: 679979,00
COORD_N	Float	10/2	NO	Coordenada norte do furo da sondagem em projeção plana	A ser preenchido	Ex: 6871398,00
DATA	Date	10	NO	Data de realização da sondagem	A ser preenchido	DD/MM/AAAA
H_IMP	Float	7/2	NO	Profundidade do impenetrável à percussão (valor negativo em metros)	A ser preenchido	Ex: -25,50
TIPO_IMP	Text	45	NO	Tipo do impenetrável	A ser selecionado	Nº de golpes maior que 50 em 15 cm Nº de golpes ultrapassa 30 em qualquer segmento de 15 cm Amostrador não avança após 15 golpes do martelo
H_NA	Float	7/2	NO	Profundidade do nível d'água (valor negativo em metros)	A ser preenchido	Ex: -2,25

ALTIMETRIA	Float	7/2	YES	Altitude do furo de sondagem (em metros)	A ser preenchido	Ex: 100,25
------------	-------	-----	-----	--	------------------	------------

No que tange aos metadados da classe “SONDAGEM_SPT” foi definido o exposto pelo Quadro 17.

Quadro 17 - Metadados da classe “SONDAGEM SPT”

METADADOS CLASSE SONDAGEM_SPT	
CLIENTE	Cliente e/ou empresa contratante dos serviços
OBRA	Nome do empreendimento/obra ou área de estudo na qual o ensaio foi realizado
LOCAL (ENDEREÇO)	Endereço do empreendimento/obra ou área de estudo na qual o ensaio foi realizado
MUNICÍPIO	Município no qual o ensaio realizado se localiza
RESPONSÁVEL TÉCN.	Responsável técnico pelo ensaio geotécnico Exemplo: João da Silva – CREA: XX.XXX-X
DIÂMETRO DO REV.	Diâmetro do revestimento do ensaio SPT Exemplo: 76,20 mm
PESO	Peso do martelo utilizado na execução da sondagem Exemplo: 65 kg
SONDAGEM (Nº FURO)	Número do furo de sondagem em relação à campanha de investigação Exemplo: SP-XX
FOLHA	Número da folha/página do relatório de sondagem do empreendimento/obra ou área de estudo Exemplo: 01/05
INÍCIO DA SOND.	Data do início da execução da sondagem Exemplo: 25/07/2022
TÉRMINO DA SOND.	Data do início da execução da sondagem Exemplo: 26/07/2022
AMOSTRADOR	Descrição do amostrador utilizado na execução da sondagem
DIÂMETRO DO AMOSTRADOR INT/EXT	Diâmetro interno e externo do amostrador padrão utilizado na execução da sondagem Exemplo: Dint = 34,90 mm / Dext = 50,90 mm
ALTURA DE QUEDA	Altura de queda do martelo Exemplo: 75 cm
SISTEMA GEODÉSICO	Conceito: Sistema geodésico utilizado como referência Exemplo: SIRGAS 2000
DATUM HORIZONTAL	Conceito: Origem das coordenadas em um determinado sistema geodésico Exemplo: Geocentro
COORDENADAS GEODÉSICAS	Conceito: Latitude e longitude em graus, minutos e segundos sistema geodésico utilizado Exemplo: -30°30'35”; -51°30'35”
PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA E FUSO	Conceito: Projeção cartográfica utilizada Exemplo: Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) – FUSO 22

TIPO DE ALTITUDE	<p>Conceito: tipo de altitude utilizada</p> <p>Exemplo: Altitude ortométrica (H) (quando referenciada ao marégrafo de Imbituba), Altura geométrica (h) (quando referenciada ao elipsoide – GNSS) ou Cota (cota) (quando baseada em superfície fictícia)</p>
------------------	---

No Quadro 18 estão sendo apresentados os atributos definidos para a classe “PROF_Xn” através de dicionário de dados e o Quadro 19 apresenta o dicionário de domínios do atributo “TIPO_SOLO”. Cabe ressaltar que as descrições (exemplo) do Quadro 19 foram tirados de exemplificações de laudos SPT existentes.

Quadro 18 - Dicionário de Dados da classe “PROF Xn”

Classe	Descrição					
PROF_Xn	Informações contidas na camada Xn que possibilitam uma análise quantitativa dos atributos da camada, podendo orientar futuras análises desejadas					
Atributo	Tipo de dado	Tamanho/Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
ID_FURO	Integer	7	NO	Código numérico da tabela oriunda da PROF_Xn (chave estrangeira – <i>foreign key – fk</i>)	A ser preenchido	Identificador único (Ex: 000001)
NSPT_X	Float	5/2	NO	Número de golpes dos 30 centímetros finais (N _{SPT}) da sondagem SPT para a camada X	A ser preenchido	Ex: 7,5
TIPO_SOLO	Integer	1	NO	Informações que possibilitam uma análise quantitativa dos dados de tipo de solo, podendo orientar futuras análises desejadas	A ser selecionado*	0 1 2 3 4

* Ver dicionário de domínios no Quadro 19 para especificação de domínios qualitativos

Quadro 19 - Dicionário de Domínios do atributo “TIPO SOLO”

Domínio	Definição	Descrição	Exemplo
TIPO DE SOLO			
0	Argila	Solos com grãos inferiores a 0,002 mm de diâmetro	Argila siltosa mole com areia fina, cinza escura
1	Silte	Solos com grãos entre 0,002 mm e menores que 0,05 mm de diâmetro	Silte arenoso, com pedregulhos, pouco compacto a compacto, cor cinza
2	Areia	Solos com grãos entre 0,05 mm e 2 mm	Areia fina siltosa, mediamente compacta e muito compacta, cinza e amarela, com mica e pedregulhos alterados
3	Pedregulho	Solos com predominância de grãos maiores de 2 mm	Pedregulho de quartzo
4	Rocha	Rocha sã, ou nível do impenetrável à percussão	Rocha sã, gnaiss facoidal (biotita, microclima gnaiss), pouco fraturada, sem fratura, cinza

No Quadro 20 estão sendo apresentados os atributos definidos para a classe “FUNDAÇÃO_EXISTENTE” e o atributo “TIPO_FUNDAÇÃO” e seus domínios estão descritos e exemplificados por meio do Quadro 21.

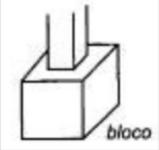
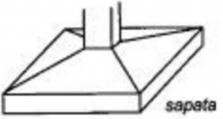
Quadro 20 - Dicionário de Dados da classe “FUNDAÇÃO_EXISTENTE”

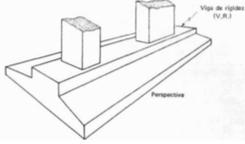
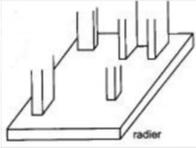
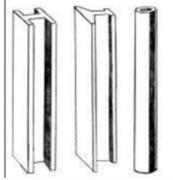
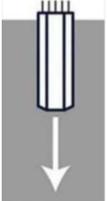
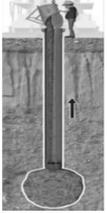
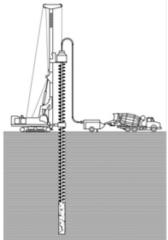
Classe	Descrição			Primitiva Geométrica		Representação
FUNDAÇÃO_EXISTENTE	Classe geográfica correspondente à fundação executada e elementos necessários para escolha do tipo de fundação			Ponto		
Atributo	Tipo de dado	Tamanho / Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Exemplo
ID_FUND	Integer	6	NO	Código numérico da fundação existente	A ser preenchido	Identificador único (Ex: 000001)
COORD_E	Float	9/2	NO	Coordenada leste do furo da sondagem em projeção plana	A ser preenchido	Ex: 679979,00
COORD_N	Float	10/2	NO	Coordenada norte do furo da sondagem em projeção plana	A ser preenchido	Ex: 6871398,00
USO	Text	25	YES	Relativo à tipologia de uso da edificação	A ser selecionado	Habitacional Unifamiliar
						Habitacional Multifamiliar
						Comercial
						Corporativo
						Misto
						Público
						Institucional
						Educacional
						Religioso
						Hospitalar
						Assistencial
						Hoteleiro
						Esportivo
Recreativo						
Cultural						
Industrial						
SUPERESTRUTURA	Text	13	YES	Conjunto de elementos que sustentam e dão estabilidade à uma construção e estão localizadas acima do nível do solo, neste caso, o tipo da estrutura construída	A ser selecionado	Madeira
						Concreto
						Pré-fabricado
						Metálica
						Mista
Outra						
	Text	30	NO			Superficial - Bloco

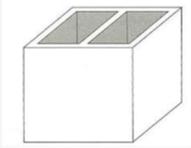
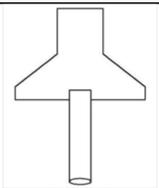
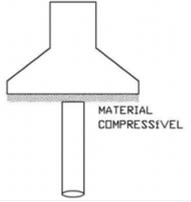
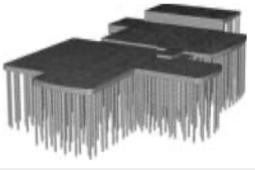
TIPO_FUNDA CAO				Tipologia da fundação executada em uma obra existente*	A ser selecionado	Superficial - Sapata
						Superficial - Viga de Fundação
						Superficial - Grelha
						Superficial - Sapata Associada
						Superficial - Radier
						Profunda - Estaca Metálica
						Profunda - Estaca Pré-moldada de Concreto
						Profunda - Estaca Franki
						Profunda - Estaca Raíz
						Profunda - Estaca Escavada/Strauss
						Profunda - Tubulão
						Profunda - Caixão
						Mista - Estaca T
						Mista - Estapata
Mista - Radier Estaqueado						
EXIST_SUBS OLO	Text	3	YES	Relativo à existência ou não de subsolo na estrutura	A ser selecionado	Sim
						Não

* Ver dicionário de domínios no Quadro 21 para especificação de domínios qualitativos

Quadro 21 - Dicionário de Domínios do atributo “TIPO_FUNDACAO”

Domínio	Definição	Exemplo
TIPO_FUNDACAO		
Superficial - Bloco	Elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura	
Superficial - Sapata	Elemento de fundação de concreto armado, de altura menor que o bloco, utilizando armadura para resistir aos esforços de tração	
Superficial - Viga de Fundação	Elemento de fundação que recebe pilares alinhados, geralmente de concreto armado; pode ter seção transversal tipo bloco (sem armadura transversal), quando são frequentemente chamadas de <i>baldrames</i> , ou tipo sapata, armadas	
Superficial - Grelha	Elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares	

<p>Superficial - Sapata Associada</p>	<p>Elemento de fundação que recebe parte dos pilares da obra, o que a difere do radier, sendo que estes pilares não são alinhados, o que a difere da viga de fundação</p>	
<p>Superficial - Radier</p>	<p>Elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra</p>	
<p>Profunda - Estaca Metálica</p>	<p>Elemento metálico de fundação profunda executada com o auxílio de ferramentas ou equipamentos, geralmente em perfis O, T e I</p>	
<p>Profunda - Estaca Pré-moldada de Concreto</p>	<p>Elemento pré-moldado de fundação profunda executada com o auxílio de ferramentas ou equipamentos, geralmente em seções poligonais, retangulares ou quadradas</p>	
<p>Profunda - Estaca Franki</p>	<p>Elemento de concreto armado moldado no solo, o qual usa um tubo de revestimento cravado dinamicamente com ponta fechada por meio de bucha e recuperado ao ser concertada a esta</p>	
<p>Profunda - Estaca Raiz</p>	<p>Elemento em que se aplicam injeções de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste e no topo deste, concomitantemente com a remoção do revestimento, conhecida como estaca injetada (ALONSO, 1998).</p>	
<p>Profunda - Estaca Escavada/Strauss</p>	<p>Elemento de concreto moldados no local após a escavação do solo, podem ser executadas através de sondas específicas para a retirada da terra, de perfuratrizes rotativas ou ainda com trados mecânicos ou manuais (FALCONI; FILHO; FÍGARO, 1998)</p>	
<p>Profunda - Estaca Hélice Contínua</p>	<p>Elemento de concreto moldado <i>in loco</i>, executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto através da haste central do trado simultaneamente a sua retirada do terreno (ANTUNES; TAROZZO, 1998)</p>	

Profunda - Tubulão	Elemento de fundação de grande porte, com seção circular e que apresentam, em geral, a base alargada, comumente conhecidas como estacas escadas de grande diâmetro (ALBIERO; CINTRA, 1998)	
Profunda - Caixaão	Elemento de fundação de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna (VELLOSO; LOPES, 1998)	
Mista - Estaca T	Elemento que associa uma sapata com uma estaca, mantendo contato entre os dois elementos (VELLOSO; LOPES, 1998)	
Mista - Estapata	Elemento que associa uma sapata com uma estaca, sem que haja contato entre os dois elementos, no meio, encontra-se um material compressível (VELLOSO; LOPES, 1998)	
Mista - Radier Estaqueado	Radiers sobre estacas (ou tubulões), que transfere parte das cargas que recebe por tensões de contato em sua base e parte por atrito lateral e carga de ponta das estacas (VELLOSO; LOPES, 1998)	

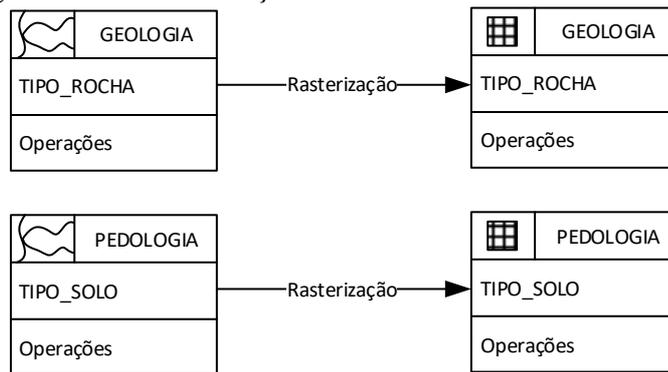
Foram produzidos 13 diagramas de classe e/ou diagramas de transformação. A Figura 30 demonstra esquematicamente o diagrama de classes produzido para produção do mapa geotécnico, a Figura 31 descreve as transformações que podem ser realizadas entre elas e, a Figura 32 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção do mapa geotécnico.

Figura 30 - Diagrama de classes para produção do mapa geotécnico



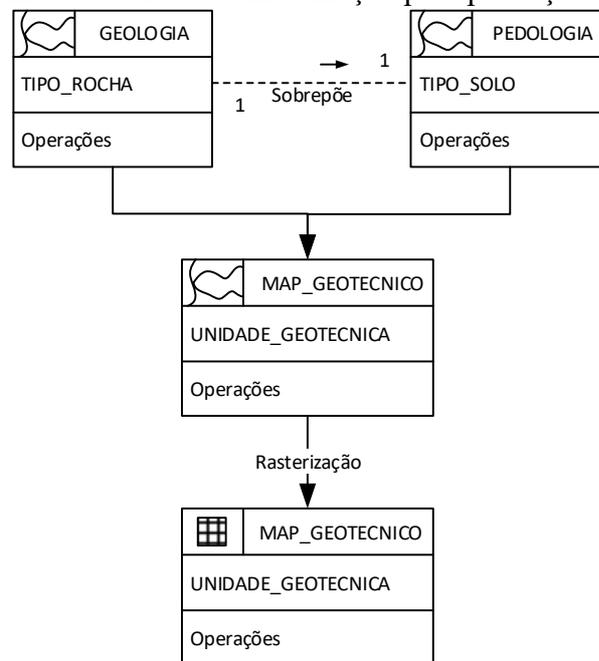
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Diagrama de transformação das classes “GEOLOGIA” e “PEDOLOGIA”



Fonte: Elaborado pelo autor.

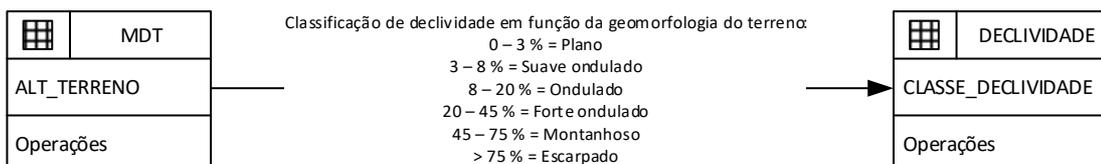
Figura 32 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa geotécnico



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 33 estabelece o esquema conceitual dinâmico da transformação realizada na classe “MDT” para uma secundária “DECLIVIDADE”.

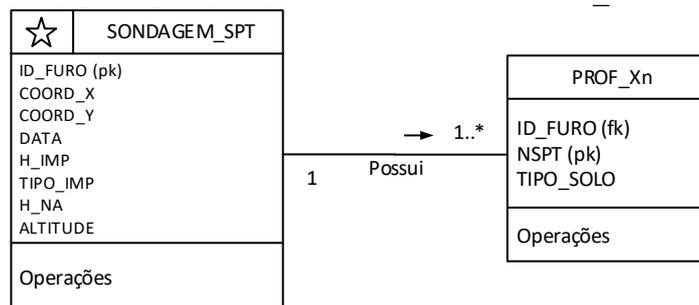
Figura 33 - Transformação da classe “MDT” em “DECLIVIDADE”



Fonte: Elaborado pelo autor.

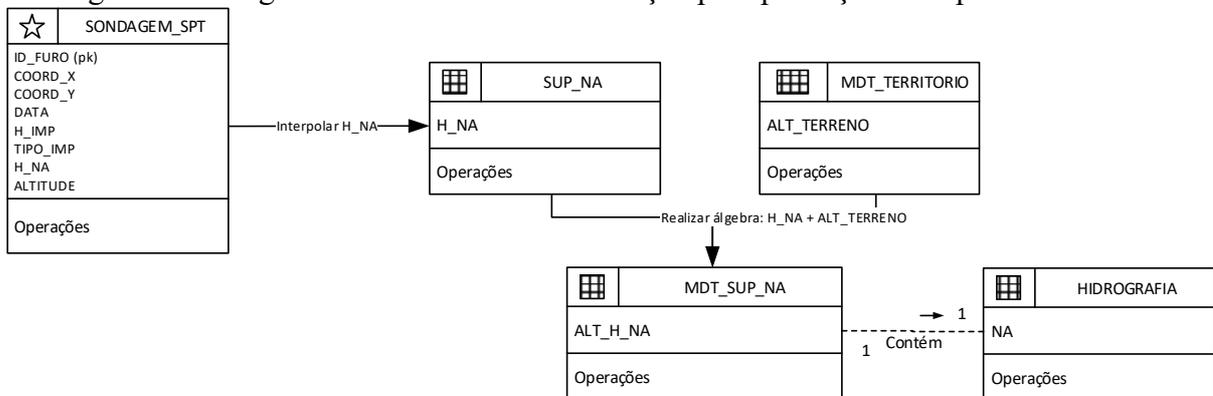
A Figura 34 demonstra esquematicamente o relacionamento entre a classe “SONDAGEM_SPT” e a classe “PROF_Xn”, a Figura 35 apresenta o diagrama de classes e transformações para produção da superfície freática, a Figura 36 apresenta o diagrama de transformação para produção da superfície do impenetrável à percussão, a Figura 37 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção do mapa de tipo de solo e a Figura 38 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção do mapa de N_{SPT}.

Figura 34 - Relacionamento entre a classe “SONDAGEM_SPT” e “PROF_Xn”



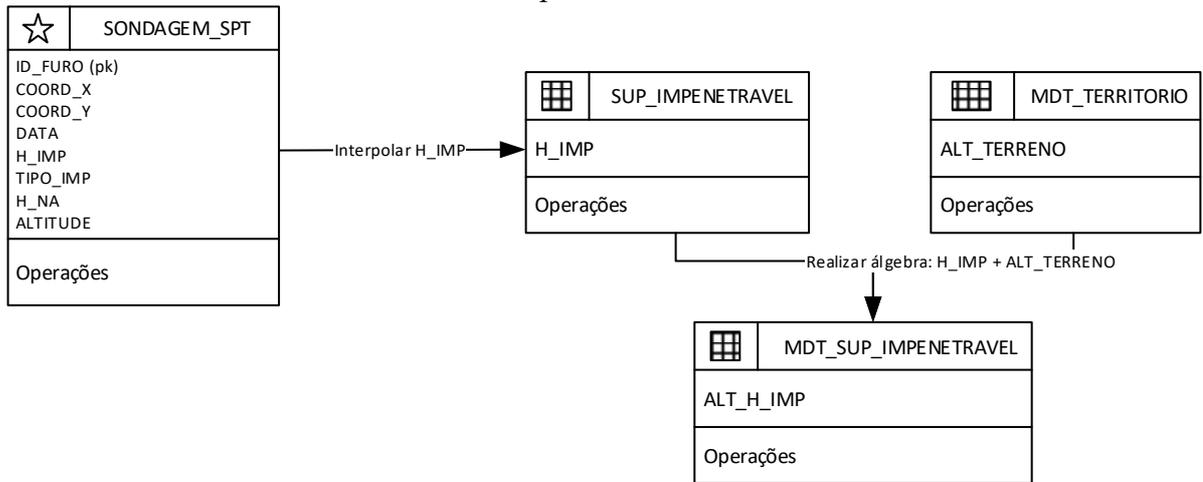
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 - Diagrama de classes e transformação para produção da superfície freática



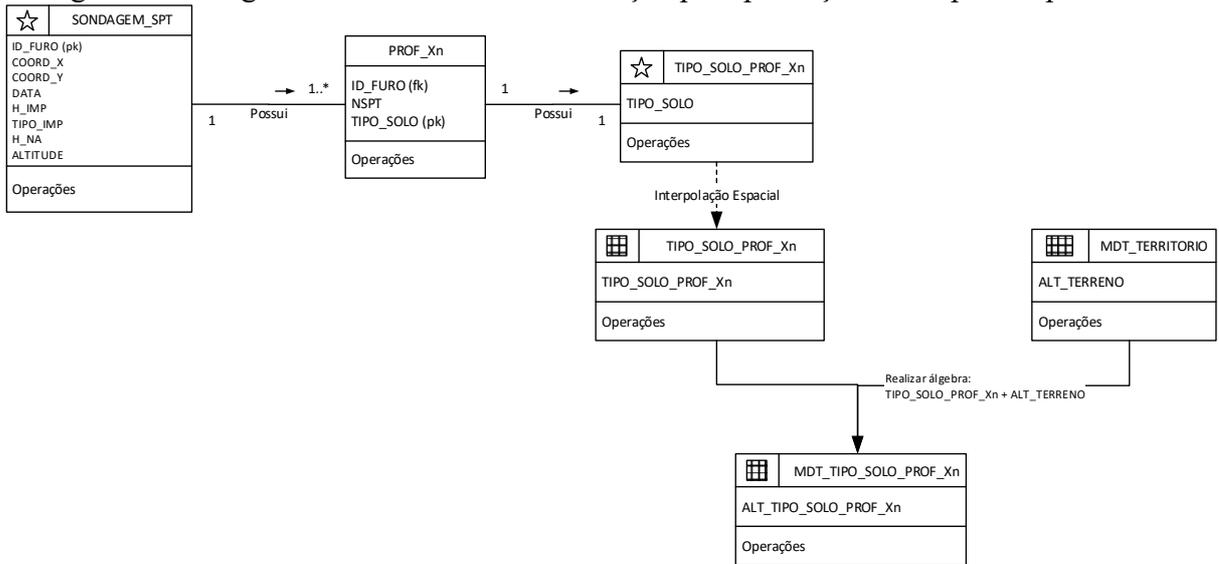
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 36 - Diagrama de transformação para produção da superfície do impenetrável à percussão



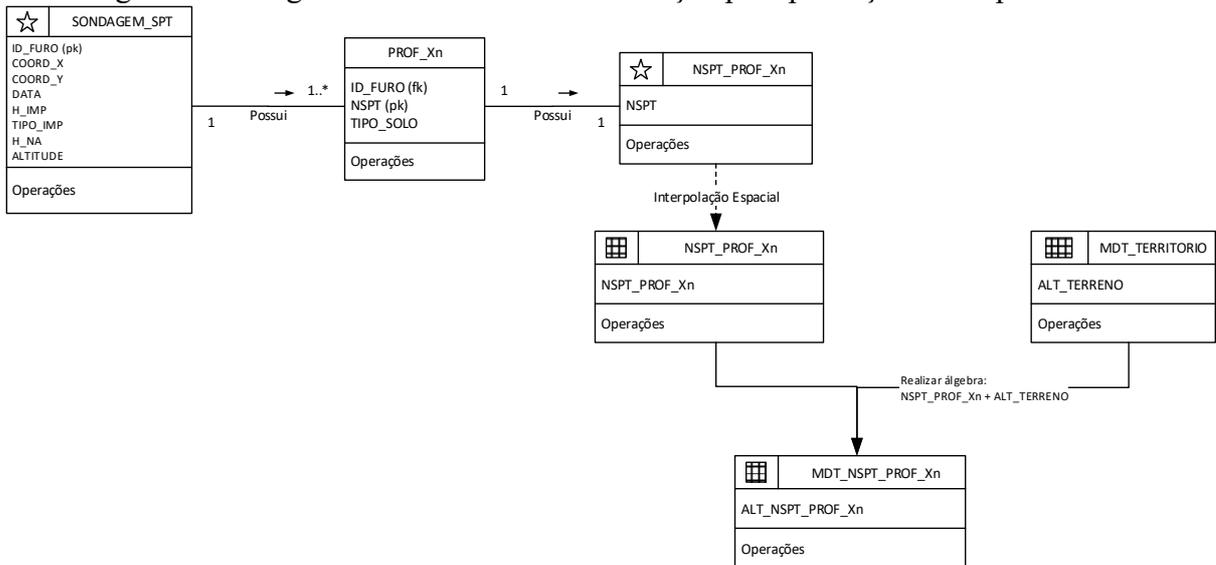
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa de tipo de solo



Fonte: Elaborado pelo autor.

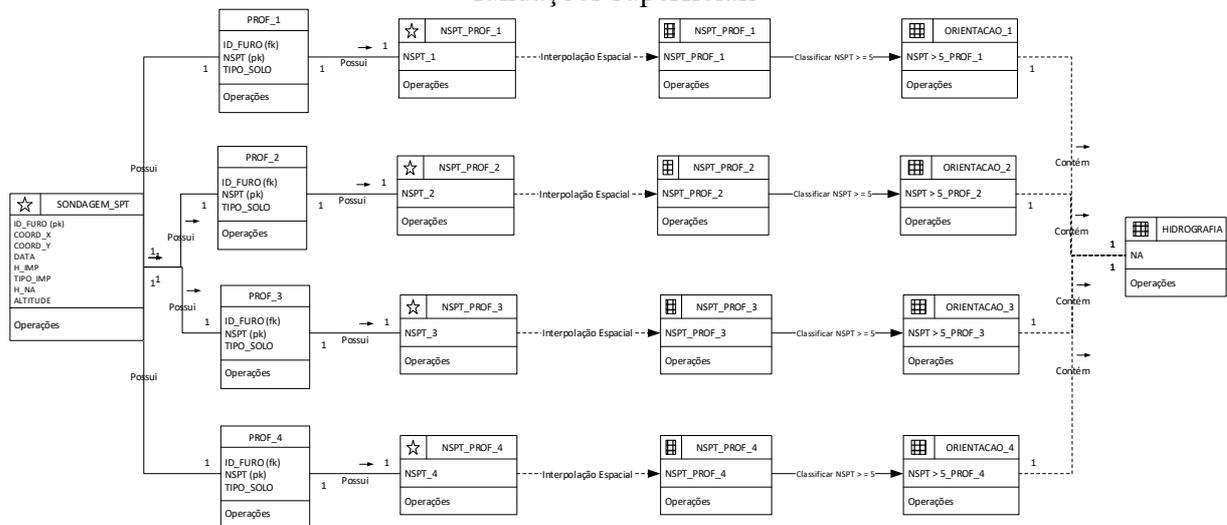
Figura 38 - Diagrama de classes e transformação para produção do mapa de N_{SPT}



Fonte: Elaborado pelo autor.

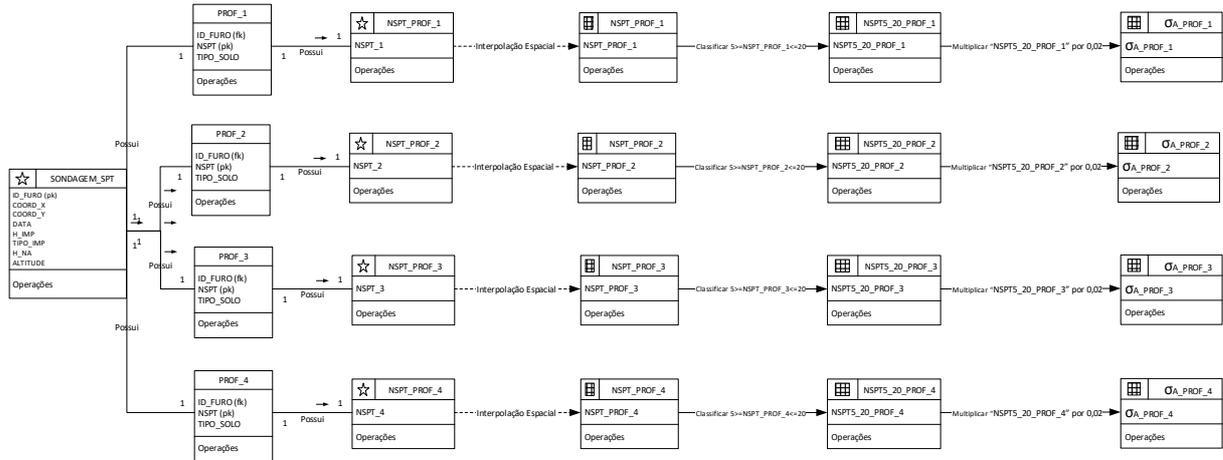
A Figura 39 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção de orientação às fundações superficiais, a Figura 40 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção dos mapas de tensões admissíveis, a Figura 41 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção das cartas de profundidade de estacas e a Figura 42 apresenta o diagrama de classe e transformação para consecução do mapa de fundações existentes.

Figura 39 - Diagrama de classes de transformação para produção do mapa de orientação às fundações superficiais



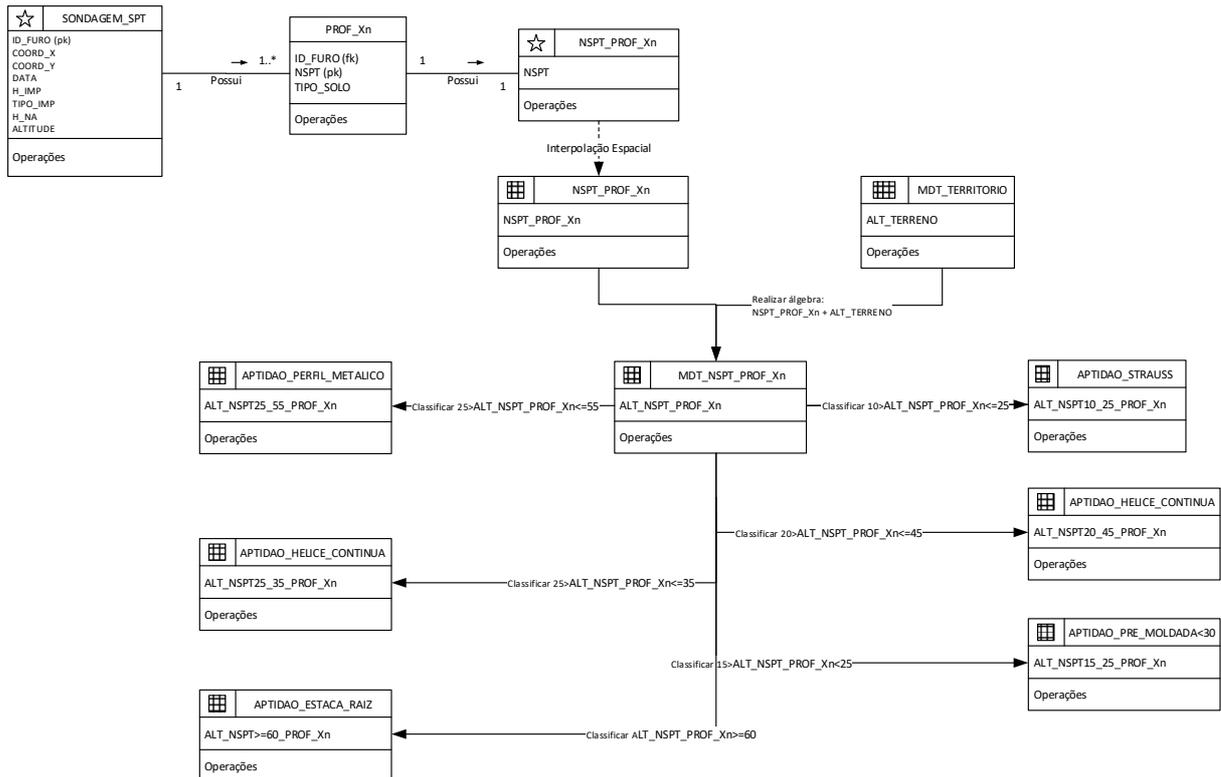
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Diagrama de classes e transformação para produção dos mapas de tensões admissíveis



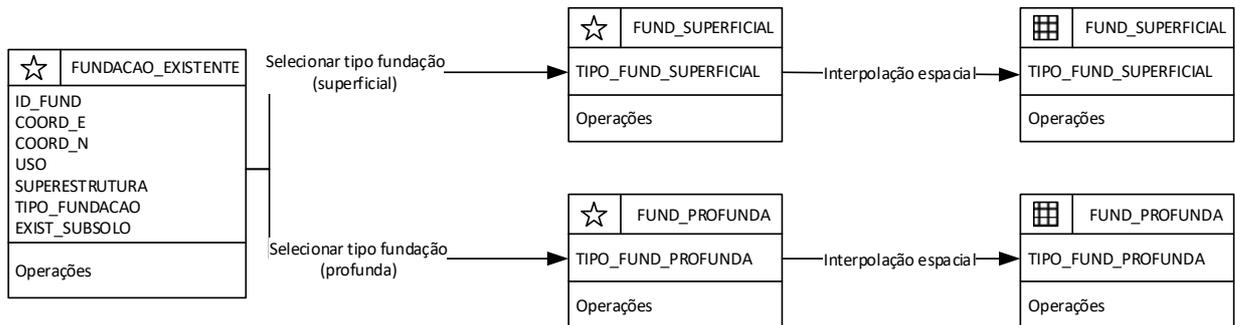
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 - Diagrama de classes e transformação para produção das cartas de profundidade de estacas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Diagrama de classe e transformação para consecução do mapa de fundações existentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta uma discussão sobre os resultados apresentados no Capítulo 4, bem como tece análises, relacionando a temática da pesquisa e a inserção da aplicação dos resultados ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações, expondo as carências verificadas nos trabalhos correlatos pesquisados no referencial teórico.

5.1 ANÁLISES DAS CLASSES PRIMORDIAIS PRODUZIDAS

Por esta pesquisa tratar de múltiplas representações, foi necessário partir de representações primárias e, na medida em que operações de transformação foram sendo contempladas, outras formas de representar o recorte observacional foram se concretizando (representações secundárias). Desta forma todas classes e diagramas produzidos foram definidos a partir de representações mais genéricas das classes georreferenciadas e convencional apresentadas no Quadro 15.

A forma com que estes objetos foram inicialmente abstraídos e representados não determina sua aparência visual, ou seja, a forma com que o usuário irá visualizar. A cada representação das classes anteriormente definidas, poderão haver múltiplas representações (DAVIS JR.; LAENDER, 2000). Portanto, o Quadro 15 indica as representações primárias das classes abstraídas do universo do mapeamento geotécnico de aptidão às fundações, de onde devem ser geradas as representações secundárias por meios das transformações adequadas. Conforme Davis Jr. e Laender (1999) estas representações primárias devem ser as mais detalhadas e abrangentes possíveis, inclusive modelando os atributos por meio dos dicionários de dados e padronizando seus domínios nos dicionários de domínios. Assim sendo, as representações primárias serão as únicas permitidas em que o usuário deve ter permissão para atualizar e, cada transformação deverá ser realizada com os dados existentes, manipulados pelos operadores apropriados e seus parâmetros.

Analisando os resultados expostos no Quadro 15, relativo as classes produzidas, foi possível identificar que foram determinadas classes de objetos tanto georreferenciados quanto convencionais, relacionados ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações utilizando primitivas que, ao mesmo tempo, possuem representação no universo real e de representação, permitindo que as mesmas possam ser inseridas em BDG.

No tocante as classes de “PEDOLOGIA” e “GEOLOGIA”, partiu-se do pressuposto de que a realização do mapeamento geotécnico ou, a definição de unidades geotécnicas, pode

ser realizada através do cruzamento entre a pedologia e geologia, sendo os primeiros objetos a serem abstraídos os solos (TIPO_SOLO) e as rochas (TIPO_ROCHA), que são a base para produção de mapas e cartas geotécnicas. Neste caso a primitiva de subdivisão planar se mostrou mais coerente de ser utilizada como estereótipo à proposta, porque é a primitiva que mais se adequa a estes tipos de objetos do mundo real, apesar de as fronteiras de cada unidade poderem variar de acordo com a escala e precisão dos mapas.

Em relação a classe “MDT” foi definida a utilização da primitiva tesselação para representar a altitude da superfície mapeada, embora as cartas de relevo possam apresentar também outras representações como isolinhas (curvas de nível), grades irregulares, entre outros. A escolha de tal representação se deu por permitir a derivação de outras informações acerca da inclinação, declividade e aspecto da superfície mapeada.

A classe “HIDROGRAFIA” foi modelada com a primitiva tesselação por se tratar de uma classe essencial para ratificação das informações de composição e origem dos solos e ser similar à classe de “MDT”, que também possui múltiplas representações, cujas condições para generalizá-las ou especializá-las depende do nível de análise que o usuário desejar, ou, para fins de visualização, a escala do mapeamento. Neste caso cada célula é composta por um valor booleano (existência ou não do nível da água). Ressalta-se que a hidrografia modelada na pesquisa é a referente apenas à hidrografia básica, motivo pelo qual omite-se qualquer outro tipo de evento de natureza descritiva ou fenômeno geográfico que possa estar relacionado a este tipo de objeto.

Ainda sobre a classe “HIDROGRAFIA”, tendo em vista que trabalhos norteadores deste modelo (THIESSEN, 2016, SANTOS, 2016 e SANTOS; THIESSEN; HIGASHI, 2018), utilizam a malha hidrográfica em sobreposição aos mapas de fundações superficiais e de nível do lençol freático para constatar e nortear o tipo de fundação escolhida. Essa classe deve subsidiar de maneira facilitada a integração entre os mapas de lençol freático oriundos dos furos de sondagem. Desta forma, por meio de mapas com as classes resultantes do lençol freático, as análises espaciais serão mais consistentes na medida em que suas representações se encontrarem sob mesma primitiva.

A classe “LIMITE_TERRITORIAL” é uma classe que delimita uma área, caso os dados da modelagem venham, por ventura, ser aplicados em uma área de estudo. Ela deve ser relativa à área em que o mapeamento geotécnico de aptidão às fundações é realizado, desde que contenham dados. Posto isto, a representação da classe é dada por uma poligonal fechada (polígono). Desta forma, partindo do pressuposto que todo mapeamento estabelece previamente uma área de estudo, a proposta deste modelo não restringe área específica (por exemplo, zona

rural ou urbana). Por meio da análise bibliográfica, pode perceber que os trabalhos que desenvolveram estes mapeamentos estabeleceram áreas de estudo diversificadas. Por todo o município, contemplando perímetro urbano e rural (CHRIST, 2019; TABALIPA, 2019), ora, apenas na mancha urbana (ou o limite da área urbana) (THIESSEN, 2016; MICHELS, 2020; FELISBINO, 2021), limites estabelecidos por bacias hidrográficas (PIMENTEL *et al.* 2020), bairros (CUNHA, 2021; MAROSSINO, 2021), áreas específicas como *campus* universitário, rodovias e aeroportos (PINA; JEREMIAS, 2010; SANTOS, 2016, RIBEIRO; SILVA; BARROSO, 2016) entre outros.

A classe “SONDAGEM_SPT” é relativa ao ponto geográfico onde foi realizada a sondagem ou investigação do subsolo pelo método *Standard Penetration Test* (SPT), cujos objetos servem como subsídios principais para a construção das análises finais, ou seja, os mapas de aptidão às fundações. Tendo em vista que podem-se obter, por meio destes ensaios, atributos relativos aos tipos de solo, posição do nível do lençol freático, índices NSPT e o impenetrável à percussão, a geoespacialização destas observações por meio da geostatística pode representar o subsolo. Sendo assim essa classe possui representação conceitual de ponto com coordenadas, que podem ou não estar georreferenciadas.

No que tange aos metadados da classe “SONDAGEM_SPT”, apresentada no Quadro 17, foram utilizadas as definições da NBR 6484 (ABNT, 2020) e também o exposto por Schnaid e Odebrecht (2012), que estabeleceram dados essenciais que precisam estar contidos nos resultados de cada ensaio, somente como exemplificação, pois não é o objetivo deste trabalho definir os metadados de todas as classes definidas.

Conforme afirmado por Velloso e Lopes (1998) de que a concepção de fundações é, na realidade, um misto de ciência e arte, a partir da geoespacialização de obras desta natureza já executadas *in loco*. Desta forma utilizou-se da abstração de *ponto* para produzir a classe “FUNDAÇÃO_EXISTENTE” tendo em vista que cada obra possui um par de coordenadas. Mostra-se, nesta classe, como atributos essenciais para geoespacialização, entendimento da situação executada, e por meio de cruzamentos, corroboram com os mapas de tipo de fundação (superficial ou profunda).

5.2 ANÁLISES DOS DICIONÁRIO DE DADOS E DOMÍNIOS PRODUZIDOS

Ao observar o Quadro 16, relativo ao dicionário de dados da classe “SONDAGEM_SPT”, é possível observar que o primeiro atributo modelado “ID_FURO” se caracteriza por um domínio que deve ser preenchido pelo usuário do sistema, quando da criação

de uma nova feição dentro de um SIG. É definido como chave primária (*primary key - pk*), e não podem se repetir. Possui tipo de dado *integer*, pela impossibilidade da existência de “meio ensaio”.

Os próximos dois atributos definem o par de coordenadas com tipo de dado *float* (a qual permite números decimais), com precisão de duas casas decimais. Muitos dos ensaios percebidos pela própria literatura, como Santos (2016) e Thiessen (2016) precisaram ser descartados face a não existência ou armazenamento equivocado deste par de coordenadas e, muitos outros, precisaram ser despendidos tempo e recursos para localizar cada furo quando esta informação não está explicitada nos laudos SPT.

O atributo “DATA” refere-se à data que o ensaio foi realizado e possui relevância semântica e técnica no contexto do ensaio de sondagem SPT, dado que é normativamente solicitado pelas boas práticas, conforme NBR 6484 (ABNT, 2020), influenciando nas análises da variabilidade do lençol freático.

A altura do impenetrável “H_IMP” é concebido como atributo invariável entre as metragens, portanto, foi modelado junto à classe “SONDAGEM_SPT”, justamente por se tratar de uma medição estática em relação ao nível do solo. Com a possibilidade de dimensões em valores decimais, foi utilizado o tipo de dado *float* com precisão de duas casas. O mesmo fenômeno se repete com o nível d’água, definido pelo atributo ‘H_NA”.

Pelo impenetrável à percussão se tratar de um dado quantitativo (de forma numérica decimal), descrevendo apenas a profundidade (em metros) do impenetrável, um novo atributo foi modelado, chamado de ‘TIPO_IMP” designando três possibilidades de paralisação por impenetrável à percussão, com domínio a ser selecionado pelo usuário. Este atributo foi modelado com base nas subjetividades apresentadas nos mapas de superfície do impenetrável. Por vezes, pode-se confundir com o manto rochoso, por hora, designa-se apenas ao impenetrável à percussão do próprio ensaio, que estabelece paralisação do ensaio pelo número de golpes e avanço por trépano. Cabe salientar que entre os trabalhos analisados e que construíram bancos de dados relativos às sondagens SPT, estes atributos estavam armazenados juntos (na mesma planilha) de atributos de N_{SPT} e tipo de solo. Estes últimos são característicos para cada metro (variam metro a metro, de acordo com as normas de execução do ensaio), estruturando-se em grandes planilhas.

Por fim, com o objetivo de trazer a localização altimétrica do furo de cada ensaio, o atributo “ALTIMETRIA” designa a altitude contida nos boletins de sondagem. Posteriormente, com o cruzamento com a classe “MDT”, a cota real do furo poderá ser determinada. Com

domínio a ser preenchido e possibilidade de inserção de valores nulos (*null values*), visto que nem todos os ensaios possuem este georreferenciamento altimétrico.

Partindo do pressuposto que os dados que variam de profundidade estarão armazenados em tabelas convencionais (classe convencional) relacionáveis à classe “PROF_Xn”, a estratégia de modelar semanticamente estes dados se deu pelo Quadro 18, onde a classe convencional “PROF_Xn” é constituída para armazenar informações contidas em profundidade Xn (em que “n” é a profundidade de cada furo de sondagem SPT). Devido ao fato de o método executivo deste ensaio estabelecer o tipo de solo e o N_{SPT} para cada furo, variando de metro em metro, estabeleceram-se, *a priori*, a chave de ligação entre a classe geográfica “SONDAGEM_SPT” às convencionais “PROF_Xn”.

Sendo assim, o atributo “ID_FURO” exerce o papel de chave estrangeira (*foreign key - fk*), tendo em vista que objetiva criar um relacionamento entre a classe geográfica. Desta forma, pode-se facilitar as consultas e consecutivamente o cruzamento de dados por meio destas referências, o que poderia gerar uma consulta que iria utilizar a profundidade desejada de análise e a localização do furo de sondagem SPT que ele pertence para exibi-los em uma listagem dos dados e, posteriormente, realizar as análises espaciais por meios de condicionantes para construir os mapas de aptidão às fundações.

O segundo atributo consiste no armazenamento do N_{SPT} , sob nomenclatura de “NSPT_X”, onde “X” é substituído pela profundidade do ensaio. Diante disso, deverá ser armazenado nesta coluna o número de golpes dos 30 cm finais da sondagem SPT para a camada “X”. Ainda, modelou-se a impossibilidade de valores nulos (*null values*) neste atributo, objetivando a não inserção equivocada.

Como o “NSPT_X” será um atributo dentro do BDG que subsidiará os mapas de superfície de NSPT, as cartas de orientação para fundação (superficiais ou profundas), as cartas de superfície de tensão admissível e as cartas de comprimento máximo de estacas, ele é essencial para a modelagem conceitual.

Por fim, a tabela convencional estabelece o atributo “TIPO_SOLO”, no qual objetivam armazenar a classificação do tipo de solo, que compõe cada camada em seus respectivos furos georreferenciados. Esta classificação se dá quanto à sua origem (solos residuais ou sedimentares) e, ainda, para cada metro de profundidade (classe convencional), segundo a sua granulometria (silte, argila, areia e pedregulho, rocha), fundamental, segundo estudos de Santos (2016), Thiessen (2016) e Santos *et al.* (2018) para a posterior caracterização geológico-geotécnica da área de estudo, ou, neste caso, relacionada à classe “LIMITE_TERRITORIAL”.

Neste caso, os tipos de solos (dados qualitativos) foram transformados em dados categóricos, objetivando formar o fenômeno espacial, concretizando um conjunto de todos os valores possíveis do atributo de interesse (TIPO_SOLO), que definirá a distribuição e variabilidade espacial dentro de um domínio em 2D ou 3D. Desta forma foi produzido o dicionário de domínios do atributo “TIPO_SOLO” exposto no Quadro 19, que apresenta os domínios que devem ser selecionados em relação aos tipos de solos de forma quantitativa (0, 1, 2, 3 e 4), do tipo *integer* (visto que são números inteiros), sem a possibilidade de valores nulos, com tamanho um.

Por se tratar da granulometria predominante, o dicionário de domínios do Quadro 19 estabeleceu suas descrições por meio da NBR 7250 (ABNT, 1982), referente à identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos e por meio da Escala de Atterberg. O tipo de solo (granulometria predominante) é encontrado na descrição do material, ou como Schnaid e Odebrecht (2012) chamam, na coluna de classificação dos solos, em boletins de sondagens. É válido ressaltar que a determinação desta granulometria se dá de forma tátil-visual e, ainda que normatizado (ABNT, 1984), pode haver discrepâncias nas análises de cada profissional. Como os laudos de sondagens apresentam três aspectos, respectivamente: granulometria, coloração e estado de consistência, conforme solicitado pela NBR 6484 (ABNT, 2020), este trabalho se baseou nas informações contidas conforme sua granulometria predominante. Destaca-se que a atribuição de domínios para os tipos de solo pode ser customizada para novas inserções, não limitando a utilização da modelagem aqui proposta, pois uma vez definindo novos domínios é possível abarcar novos tipos.

Para a escolha efetiva do tipo de fundação, a bibliografia reúne alguns elementos necessários. Dado isto, buscou-se modelar semanticamente, por meio do dicionário de dados, os atributos da classe “FUNDACAO_EXISTENTE” exposta no Quadro 20, onde pode ser observado que o primeiro atributo, conforme classes anteriores, possui o “ID_FUND”, caracterizado por ser um código numérico do próprio *ponto* que a aplicação utilizará do tipo *integer*. Naturalmente, a possibilidade de valores nulos não é permitida. Ressalta-se que, dependendo do limite territorial em que o banco de dados for construído e, da quantidade e demanda necessária para o armazenamento, o tamanho dos campos, dependendo do número de fundações existentes, poderá ser modificado nas etapas de implementação.

Os atributos relativos às coordenadas caracterizam-se por dar espacialização à classe abstraída como *ponto*. O atributo “USO” é necessário para que o projetista ou usuário da aplicação compreenda os dados acerca de construções vizinhas (VELLOSO; LOPES, 1998; LORENZI, 2018) quando da escolha do tipo de fundação. Diante disso, padronizou-se por meio

do Sistema de Informação e Comunicação do Conselho dos Arquitetos e Urbanistas do Brasil (CAU/BR) os diferentes tipos de usos da construção ou do projeto arquitetônico. As informações do uso das edificações contribuem, inclusive, para que a aplicação possa localizar, mesmo que de forma pontual, estes usos, possibilitando ao usuário uma visão de vizinhança e poder de decisão sobre o impacto que poderá ser causado dependendo do tipo de fundação escolhida, principalmente em etapas executivas (utilização de bate-estaca, hélice contínua, contenções, etc.). No sentido de armazenar este atributo, para empresas executoras de fundações, quanto maior for a variabilidade e qualidade dos dados oriundos da área em que as fundações são realizadas, e/ou dos locais em que os estudos são realizados, mais preparada estará a empresa para enfrentar as diversidades (LORENZI, 2018), principalmente, quando da escolha dos equipamentos que poderão ser utilizados para a consecução da obra.

Desta forma a inclusão de informações relativas à superestrutura da obra, cuja fundação é base, está modelada por meio do atributo “SUPERESTRUTURA”, seguindo a mesma lógica do atributo “USO”, de forma a compreender o tipo de estrutura vizinha para determinar o tipo de fundação a ser executado. Por se tratar de um dado do tipo *text*, seus domínios estão especificados pela coluna que os discrimina e padroniza. Neste caso, igualmente ao atributo anterior, há a possibilidade de valores nulos, caso o sistema estrutural não tenha sido reconhecido. Os domínios do atributo “SUPERESTRUTURA” (sistema estrutural) foram padronizados com base na Resolução nº 21 do Conselho de Arquitetura e Urbano do Brasil (CAU, 2012). Ademais, os atributos “TIPO_FUNDACAO” foram estabelecidos, junto aos seus domínios (a ser selecionado), com tipo de dado *text*, descritos no Quadro 21. Por fim, o atributo “EXIST_SUBSOLO” caracteriza-se pelo tipo de dado *booleano*, ou seja, com possibilidade de somente dois tipos de valores (sim/não). Há, também, a possibilidade de valores nulos tendo em vista que, por vezes, este atributo não pode ser verificado ou não está especificado nas informações. Objetiva-se com este atributo, compreender o impacto que uma nova obra de fundação acarretará nas obras vizinhas.

5.3 ANÁLISES DOS DIAGRAMAS DE CLASSES E TRANSFORMAÇÃO PRODUZIDOS

Com o objetivo de descrever os resultados cabe ressaltar que os diagramas de classes e de transformação foram estruturados e apresentados em conjunto, visto que o cenário observacional se deu por processos metodológicos de análise espacial, por algoritmos de transformação, visando aplicações específicas nas áreas de geometria computacional, generalização cartográfica e análise espacial.

Desta forma, a partir da definição dos objetos geográficos do mundo real e das semânticas necessárias para consecução deste tipo de mapeamento foram atribuídos algoritmos no sentido de tratar de alterações simples e que na sequência puderam ser aplicadas em transformações mais complexas, de forma a subsidiar o fluxo de informação do mapeamento geotécnico de aptidão às fundações.

Além disso, esta abordagem explorou, segundo Davis Jr. e Laender (1999), a modularidade do processo de generalização, definindo uma hierarquia de generalização e analisando dependências entre operadores. Como resultado, as atualizações em um nível básico podem ser propagadas automaticamente para representações generalizadas.

A primeira análise a ser desenvolvida é relativa ao mapeamento geotécnico, pois dada a metodologia de Davison Dias (1995), de sobrepor a pedologia à geologia do ambiente investigado, foi possível definir unidades geotécnicas, ponto de partida para o diagrama de classes. Desta forma definiu-se como alternativa inicial de representação desses objetos geográficos a subdivisão planar. Nesta alternativa, conforme Davis Jr. (2000), a transição de um valor a outro é realizada de forma repentina, apesar de a realidade não mudar abruptamente como os mapas simplificados indicam, ou seja, a sobreposição entre os atributos (tipos de solo e tipos de rocha) resultará no Mapeamento Geotécnico preliminar contendo as Unidades Geotécnicas. Diante disso, as classes de “PEDOLOGIA” e “GEOLOGIA” se sobrepõem através de relacionamento espacial resultando na classe “MAP_GEOTECNICO” de Unidades Geotécnicas, exposta pela Figura 30, onde é possível afirmar que a classe que corresponde ao “MAP_GEOTECNICO” é secundária das classes primárias “PEDOLOGIA” e “GEOLOGIA”. Portanto, a partir desta esquematização, é possível que, diante das atualizações de pedologia e/ou geologia, a classe “MAP_GEOTECNICO”, contendo como atributo a UNIDADE_GEOTECNICA (unidades geotécnicas) automaticamente se atualize. Sobre a cardinalidade, estabelece-se que para um objeto da classe “GEOLOGIA” deve haver somente um objeto da classe “PEDOLOGIA” (1...1). Outra opção de produção da classe secundária é através de transformação realizada por rasterização das subdivisões planares das classes “PEDOLOGIA” e “GEOLOGIA”. A Figura 31 descreve as transformações que podem ser realizadas entre as classes.

O objetivo principal de transformação das classes de “GEOLOGIA” e “PEDOLOGIA” de *subdivisões planares* para *tesselação*, encontra-se sobre a lógica de realizar uma álgebra de mapas entre as duas classes de geocampo. A transformação é realizada por meio do operador de análise espacial *rasterização*. Assim, dados geológicos e pedológicos necessários para composição de unidades geotécnicas poderão de sobrepor, criando a classe

“MAP_GEOTECNICO”. No sentido de trabalhar com subdivisões planares, a princípio, a Figura 32 apresentou os relacionamentos e a transformação realizada junto ao operador de análise espacial para resultar na classe final do mapeamento geotécnico. Em relação à classe “MDT” da Figura 32, é preciso derivar, a partir dela, os mapas de declividade e, por meio de relacionamentos com outras classes, aferir as declividades em cada furo, para elaborar as cartas de aptidão às fundações.

Conforme estabelecido pelos trabalhos que construíram estas cartas de aptidão, o mapa de declividade se derivou do “MDT” em formato matricial (*tesselação*), conforme apresentação da Figura 33, onde por meio do operador de análise espacial de classificação, a derivação da classe “MDT” para a classe “DECLIVIDADE” é realizada. A classificação seguiu os preceitos da Embrapa (2013), na mais recente versão do SiBCS. Desta forma, o operador de análise espacial (classificação), agrupou objetos em classes (declividade em %), de acordo com faixas de valores estabelecidos pelo SiBCS ((0 – 3 % Plano), (3 – 8 % Suave ondulado), (8 – 20 % Ondulado), (20 – 45 % Forte ondulado), (45 – 75 % Montanhoso) e (> 75 % Escarpado). Cabe salientar que conforme determinado por Davis Jr. e Laender (2000), a classe “DECLIVIDADE” remete-se à uma classe secundária ao “MDT”.

A segunda análise realizada se deu em relação às sondagens SPT, onde o estabelecimento das classes, atributos, relacionamentos e cardinalidades a partir deste objeto geográfico, caracterizado pelo furo de ensaio SPT, possibilitou estruturar as principais análises espaciais que este trabalho tem por objeto: aptidão às fundações.

O fato deste objeto ser caracterizado em um geo-objeto reside sob a perspectiva de que, construir um banco de dados apenas para armazenar e representar estes laudos geotécnicos, não possui relevância científica para o avanço do campo. O avanço no campo de estudo encontra-se em utilizar estes dados SPT, de forma previamente representativa e modelada e realizar interpolações de seus atributos com objetivo de construir novas informações.

Para tanto, as estratégias de interpolação dos atributos geotécnicos e relacionáveis às fundações precisam ser consideradas de forma conceitualmente organizada. No que tange à representação conceitual, o diagrama de classes, a partir da esquematização de seus relacionamentos, trarão luz e visibilidade de como o banco de dados relativos a este objeto se comporta. A estratégia estabelecida para diagramar as classes e relacionamentos podem ser observados na Figura 34, onde, a princípio, buscou-se estabelecer o relacionamento da classe georreferenciada “SONDAGEM_SPT” com a classe convencional “PROF_Xn”. A estratégia utilizada, como citado nos itens anteriores, reflete em uma separação, no sentido de armazenamento, dos atributos invariáveis à profundidade, com aqueles que variam, metro a

metro (por meio do ensaio SPT). Desta forma, todas as análises e construção de representações necessárias para a aptidão às fundações poderão ser realizadas.

Portanto, conforme o modelo OMT-G, a classe “SONDAGEM_SPT” associa-se simplesmente (associação simples) com a classe “PROF_Xn”. Ou seja, representa-se o relacionamento entre a classe georreferenciada (o próprio furo das sondagens com seus atributos) à classe convencional (tabelas convencionais para cada metro da sondagem). Portanto, se o furo de sondagem possui 15 metros, a classe georreferenciada “SONDAGEM_SPT” possuirá um total de 15 tabelas convencionais (classe “PROF_Xn”) associadas a ela.

Esta estratégia se mostrou mais eficiente para organizar e, posteriormente, geoespacializar os atributos contidos em cada camada, haja vista que o ensaio se dá a cada metro de perfuração. Assim, a expressão “Xn” será substituída pelo número em que a profundidade estará armazenada no BDG (ex: PROF_1, PROF_2, etc). Se difere dos demais trabalhos analisados e citados no capítulo de método desta pesquisa, por armazenar de forma não sobrecarregada uma classe (“SONDAGEM_SPT”). Assim sendo, a cardinalidade constitui-se de um para muitos (1...*).

Cabe salientar que a estratégia inicial de representação dos furos de sondagens se deu pela primitiva de *ponto*, tendo em vista a associação espacial de cada furo junto às tabelas convencionais. Entretanto, nas etapas de implementação e modelagem física (ou seja, preenchimento do BDG junto aos dados reais coletados), é preciso se atentar a distribuição espacial dos ensaios.

Partindo-se de uma visão ampla e geral, o conceito que norteia a base teórica da interpolação espacial é a similaridade. Nessa linha de raciocínio, os valores de pontos próximos no espaço têm maior probabilidade de serem parecidos do que os pontos que estão mais afastados. A interpolação espacial, portanto, assume que os atributos dos dados são contínuos e espacialmente dependentes. Estas considerações permitem o desenvolvimento dos métodos de interpolação espacial (IESCHECK 2006).

Trabalhos como de Thiessen (2016), Santos (2016), Santos *et al.* (2018) construíram seus mapas geotécnicos de aptidão às fundações com base nas primitivas de pontos. Oliveira *et al.* (2021) igualmente representaram em seu modelo conceitual de dados geotécnicos, os ensaios de campo com a primitiva de ponto. Amorim *et al.* (2016), como forma de representar conceitualmente os perfis geotécnicos oriundos de ensaios de campo, utilizaram a estratégia definida pelo OMT-G de agregação entre três classes convencionais (espessura da camada, tipo de solo e N_{SPT}), originando por meio destas três, a classe de perfil geotécnico com primitiva de

amostragem. No entanto, este trabalho objetiva a realização de um modelo conceitual não apenas de armazenamento de dados, mas para subsidiar transformações por meio de operadores de análises espaciais para a consecução de metodologia pré-existente.

Por meio das validações de Santos (2016), verificou-se que a qualidade dos bancos de dados de sondagens SPT está diretamente relacionada à distribuição e heterogeneidade dos elementos em estudo utilizados em análises geoestatísticas. Neste contexto de distribuição espacial, é válido ressaltar, conforme apontamentos de Silva (2011) que, para utilização de operadores de análise espacial como os interpoladores, devem-se verificar nos momentos de implementação e carga do BDG, limitações de distância, homogeneidade, tipificação e seleção de atributos, objetividade e escala. Portanto, separar cada camada de solo e relacioná-las espacialmente à primitiva de ponto apresenta-se com maior eficácia, mesmo compreendendo que, para ser considerada em uma determinada área de estudo, os pontos deverão ser distribuídos de forma homogênea por toda região mapeada para poderem ser considerados amostras e, assim, permitirem as interpolações modeladas neste trabalho.

Sendo assim, conforme define Zuquette (1993) e, por meio de uma análise espacial adicional realizada por Santos (2016) e Thiessen (2016), os autores apresentam uma referência do número mínimo de observações por área (km^2), a qual relaciona a uma distância máxima entre os pontos observados. Nos estudos de Zuquette (1993), o autor especifica as finalidades de mapeamento geotécnico, tendo em vista uma análise básica, regional e detalhada, com suas respectivas escalas e padroniza a quantidade de observações por área (km^2) e a distância entre os pontos observados, tendo em vista litologias do tipo metamórficas, ígneas e sedimentares.

Portanto, apesar de não ser objetivo desta pesquisa implementar o banco de dados oriundo das sondagens, no momento de sua implementação, de forma a garantir uma boa qualidade nas etapas de interpolação espacial, estas definições precisam ser respeitadas.

Tendo o relacionamento básico dos furos de ensaio SPT com as tabelas convencionais relativos a cada metro realizado, será possível a construção de análises da superfície freática (a partir do atributo “H_NA” da classe georreferenciada “SONDAGEM_SPT”), superfície do impenetrável a percussão (a partir do atributo “H_IMP” da classe georreferenciada “SONDAGEM_SPT”), dos mapas de tipo de solo e N_{SPT} (a partir dos atributos “TIPO_SOLO” e “NSPT” das classes “PROF_Xn”). Desta forma a modelagem iniciou com a apresentação dos diagramas necessários para a produção dos mapas de lençol freático. A Figura 35 detalha este relacionamento, bem como suas cardinalidades e transformações, que se iniciam com a interpolação (operador de análise espacial) do atributo H_NA da classe “SONDAGEM_SPT”. A partir desta interpolação (oriunda de um dos atributos da “SONDAGEM_SPT) em toda a área

de estudo, resulta-se na classe “SUP_NA” que se caracteriza por um *raster* cujo atributo de cada pixel é a altura da superfície freática “H_NA”. Tendo a classe “SUP_NA” uma característica de geocampo, resultante dos processos de interpolação, é possível relacioná-la a classe “MDT_TERRITORIO” da área de estudo. Então, por meio da realização de uma álgebra de mapas entre os objetos (“H_NA” + “ALT_TERRENO”) a classe “MDT_SUP_NA” se concretiza gerando o atributo “ALT_H_NA”. Esta álgebra de mapas (entre as duas classes de *tesselação*) justifica-se pela necessidade de os mapas finais serem gerados não apenas com base na profundidade do furo (atributo H_NA da classe “SONDAGEM_SPT”), mas sim, em relação à altitude ortométrica (H).

A classe geográfica “MDT_SUP_NA” representa conceitualmente a superfície do lençol freático, oriunda dos dados primários dos boletins/ensaios SPT da área de estudo. A bibliografia relativa aos mapeamentos de superfície freática tendo em vista a aptidão às fundações demonstram a necessidade de adicionar a hidrografia existente e, previamente, mapeada da área a ser estudada, portanto, relacionou-se em uma cardinalidade de 1 para 1 (1...1) à classe “HIDROGRAFIA”. Desta forma, a incorporação de informações das malhas hidrográficas, nascentes, bacias hidrográficas estarão incorporadas por meio do relacionamento espacial “*contém*”. Ou seja, o diagrama conceitual da Figura 35 representa as classes necessárias, que irão compor o BDG, sejam elas as mais genéricas, ou as criadas por meio das transformações, que suportarão os relacionamentos e transformações necessárias para o armazenamento e operações, possibilitando a elaboração, *a posteriori*, das visualizações do mapa da superfície freática. A inserção da classe “HIDROGRAFIA” nestes relacionamentos tem o intuito de melhorar a qualidade do mapa de superfície do lençol freático com a adição de novos dados, onde o nível da água pode ser realmente estimado, conforme Thiessen (2016) e Santos (2016) demonstraram.

A partir da geoespacialização na forma de *raster* da superfície do lençol freático, é possível realizar diversas análises espaciais. Caso seja necessário, este modelo possibilitará criar comparações entre a superfície freática oriunda exclusivamente dos dados de SPT (“MDT_SUP_NA”) e as superfícies freáticas oriundas dos dados SPT junto da hidrografia existente “MDT_SUP_NA” relacionando com a “HIDROGRAFIA”.

Outro esquema conceitual que será diretamente oriundo da classe “SONDAGEM_SPT” são os relacionamentos que materializarão o impenetrável à percussão. Desta forma, por meio da interpolação espacial dos atributos “H_IMP” da classe georreferenciada, resultará na classe de geocampo (*tesselação*) “SUP_IMPENETRABEL”. Similar ao atributo H_NA, o atributo H_IMP refere-se à profundidade do furo e, para isso, a

realização da álgebra de mapas com o “MDT_TERRITORIO” permitirá geoespacializar sua altura, gerando por fim, a classe “MDT_SUP_IMPENETRABEL”. Desta forma, estimativas em relação à profundidade do impenetrável à percussão poderão ser realizadas de acordo com as solicitações do usuário. A Figura 36 apresenta as transformações realizadas no esquema que resume as álgebras realizadas, sem a necessidade de utilizarem-se relacionamentos espaciais, tanto quanto, cardinalidades. Assim sendo, o diagrama de transformação representa a dinâmica que o atributo “H_IMP” possuirá dentro de um BDG.

Ao elaborar as representações necessárias para obter-se os mapas de tipo de solo, segundo sua granulometria predominante, a cada metro de profundidade, foi estruturado, conforme a Figura 37 os relacionamentos e operações entre as respectivas classes, onde parte-se de associação simples (*possui*) entre a classe “SONDAGEM_SPT” à classe convencional “PROF_Xn”. Com cardinalidade de 1 para várias (1...*), por se tratar de uma análise tridimensional, a classe “PROF_Xn” possui em seu escopo o atributo “TIPO_SOLO”. Conforme detalhado pelos Quadros 18 e 19, os tipos de solo estão armazenados em tabelas convencionais.

Portanto, de forma a geoespacializar este atributo convencional, foi proposto a representação de *ponto* para cada atributo TIPO_SOLO de cada classe convencional, por meio de um relacionamento simples (*possui*) com cardinalidade de 1 para 1 (1...1), haja vista que haverá, em cada furo e profundidade, apenas um tipo de solo. Desta forma, a classe georreferenciada “TIPO_SOLO_PROF_Xn” se estabeleceu, possuindo como atributo o próprio TIPO_SOLO, naquela profundidade (Xn) e, por meio de interpolação espacial, transformou-se os atributos da classe representada por *ponto*, em *tesselação*, objetivando realizar novamente uma álgebra de mapas com a classe “MDT_TERRITORIO” para obter-se a altura ortométrica da área de estudo, no que tange ao tipo de solo de cada profundidade. A álgebra se dará pela somatória entre o atributo “TIPO_SOLO” e atributo “ALT_TERRENO”. Assim, alcança-se a classe “MDT_TIPO_SOLO_PROF_Xn” representando de forma a subsidiar a elaboração das apresentações dos tipos de solo para cada profundidade determinada, ou para cada análise desejada.

A mesma lógica é seguida para subsidiar as apresentações do MDT dos valores de N_{SPT}. Conforme Figura 38, a partir da classe “SONDAGEM_SPT” pode-se relacionar de forma simples com cardinalidade de 1 para muitos (1...*) a classe convencional “PROF_Xn” e então, georreferenciar por meio da primitiva *ponto* o número de golpes dos últimos 30 cm da classe (ou, da camada). Igual ao tipo de solo, a interpolação espacial foi utilizada, de forma a transformar aquilo que era *ponto*, em *tesselação*. Assim, criou-se a classe “NSPT_PROF_Xn”,

a qual representa na forma de um geocampo o N_{SPT} (superfície contínua). Assim, tendo um MDT da profundidade do próprio furo (ou, cota fictícia), realiza-se um cruzamento (entre o atributo “NSPT_PROF_Xn” e “ALT_TERRENO”) com o “MDT_TERRITORIO” para obter-se a altura ortométrica. O resultado desta interação é a classe georreferenciada “MDT_NSPT_PROF_Xn”, que representa o dado de N_{SPT} na visão de campo a partir de relacionamentos íntegros.

A Figura 39 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção de orientação às fundações com seus relacionamentos, cardinalidades, para produção dos mapas de orientação para fundações, a princípio, relativo às fundações superficiais. Segundo a bibliografia, o critério básico para determinação das fundações superficiais é a viabilidade econômica (Rebello, 2011), tendo como referência os limitantes da equação apresentada por Hachich *et al.* (1998) para as fundações diretas. Desta forma, o diagrama de classes e transformações partiu da classe “SONDAGEM_SPT” e representou as quatro primeiras profundidades. A determinação destas quatro profundidades do diagrama apresentado, justifica-se por Rebello (2011) afirmar que para as fundações superficiais, a viabilidade econômica encontra-se na execução de profundidades de até 2,00 metros. Entretanto, conforme Thiessen (2016), a possibilidade da existência de subsolo da obra, acarretará em uma pré-escavação, e por este motivo, se representou as análises até quatro metros de profundidade.

Assim, a classe “SONDAGEM_SPT” possui na forma de associação simples, quatro tabelas convencionais, da classe “PROF_Xn”, em uma cardinalidade de 1 para 1 (1...1), pois as profundidades, diferentemente dos diagramas anteriores, já estão preestabelecidas. Assim sendo, o nome das classes, são, respectivamente “PROF_1”, “PROF_2”, “PROF_3” e “PROF_4”. Estas quatro classes convencionais foram transformadas em *pontos* (classes georreferenciadas), contendo o principal atributo para subsidiar a equação determinada por Hachich *et al.* (1998), que é o N_{SPT} (NSPT). Desta forma, para cada *ponto* oriundo de cada profundidade, o atributo NSPT (NSPT_1, NSPT_2, NSPT_3 e NSPT_4) foi interpolado espacialmente, representando as classes de “NSPT_PROF_1”, “NSPT_PROF_2”, “NSPT_PROF_3” e “NSPT_PROF_4” na primitiva geométrica de *tesselação*. Desta forma, foram construídos MDT das quatro primeiras profundidades, com os atributos “NSPT”.

A partir disso, utilizou para classificar as *tesselações* o operador de *classificação*, o qual agrupou objetos em categorias que compartilham características idênticas, neste caso, que possuem o atributo NSPT_PROF_1, NSPT_PROF_2, NSPT_PROF_3 e NSPT_PROF_4 maiores ou iguais a cinco, conforme estabelecido pela bibliografia de fundações superficiais.

Assim sendo, como resultante destas interações e transformações, obteve-se quatro MDT, representados pela classe georreferenciada de tesselação “ORIENTAÇÃO_1”, “ORIENTAÇÃO_2”, “ORIENTAÇÃO_3” e “ORIENTAÇÃO_4”.

Pelas fundações superficiais serem determinadas também com base na hidrografia, a classe “HIDROGRAFIA” foi associada espacialmente (associação espacial) com as tesselações de orientação, conforme classificação apresentada. Portanto, para cada classe “ORIENTAÇÃO_1” (...), foi realizado um relacionamento espacial do tipo “*possui*” com a cardinalidade de 1 para 1 (1...1) com dados da classe “HIDROGRAFIA”, cujo atributo é o próprio nível da água.

No tocante às fundações superficiais, a mesma lógica de relacionamento entre as classes foi realizada para consecução do diagrama conceitual na determinação das cartas de tensões admissíveis. O diagrama para elaboração destas cartas pode ser visualizado na Figura 40, onde parte-se da classe “SONDAGEM_SPT” e, por meio de associação simples (*possui*), representam-se as quatro tabelas convencionais dos primeiros quatro metros em uma cardinalidade de 1 para 1 (1...1). Representar os quatro primeiros metros, assemelha-se a estratégia para analisar o N_{SPT} de fundações superficiais, haja vista a necessidade de analisar o subsolo, além dos primeiros dois metros.

Desta forma, sendo o chaveamento primário (*primary key*) um atributo “ID_FURO” a chave estrangeira das tabelas convencionais será também o “ID_FURO” (*foreign key*). Pela representação destas tabelas convencionais, de “PROF_1” até “PROF_4”, pode-se verificar que cada uma delas possui uma localização da profundidade, representada por *ponto* (classe “NSPT_PROF_1”), com atributo “NSPT_X” em cada uma. O chaveamento primário será estabelecido no atributo NSPT em uma cardinalidade de 1 para 1 (1...1).

Por meio da interpolação de cada classe, concretizam-se as classes de *tesselação*, nomeadas de “NSPT_PROF_1”. E, a partir de uma classificação, onde o critério para este serão os N_{SPT} cujos valores encontram-se entre os intervalos de 5 e menor ou igual a 20 (estabelecido por Hachich *et al.* (1998)), resultam-se nas classes “NSPT5_20_PROF_1”, “NSPT5_20_PROF_2”, “NSPT5_20_PROF_3” e “NSPT5_20_PROF_4”. Tendo estas superfícies na forma de geocampos, cada célula, ou local do espaço, será multiplicado, por meio de uma álgebra de mapas, por 0,02 (equação para determinação da tensão admissível descrita por Hachich *et al.* (1998))

Por fim, como classes resultantes de todo o processo, tem-se representações na forma de *tesselação* das tensões admissíveis para as quatro primeiras profundidades, cujas classes são

descritas por “ $\sigma_A_PROF_1$ ”, “ $\sigma_A_PROF_2$ ”, “ $\sigma_A_PROF_3$ ” e “ $\sigma_A_PROF_4$ ”, e como atributo, o próprio valor de suas tensões.

O diagrama de classes e transformações para a produção das cartas de profundidade de estacas pode ser visualizado na Figura 41, onde parte-se novamente pelo mesmo esquema para determinação da classe “MDT_NSPT_PROF_Xn”, conforme explicado e descrito pela Figura 40. A partir desta classe, juntamente com considerações realizadas por Cintra e Aoki (2010) sobre os intervalos de N_{SPT} para a parada de cada tipo de estaca, pode-se esquematizar conceitualmente as classificações. Portanto, partindo-se da classe “MDT_NSPT_PROF_Xn” que é caracterizada por representar as superfícies de N_{SPT} por meio de *tesselações* para cada profundidade do subsolo, realizou-se a primeira representação da classificação, para fundações relativas aos perfis metálicos. Para isso, utilizou-se o operador “Classificar 25>ALT_NSPT_PROF_Xn<=55” como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_PERFIL_METALICO” com o atributo “ALT_NSPT25_55_PROF_Xn”. Cabe salientar que os intervalos de N_{SPT} para fundações de perfis metálicos encontra-se entre 25 e menor ou igual a 55. Utilizou-se o operador “Classificar 10>ALT_NSPT_PROF_Xn<=25”, para fundações do tipo *Strauss* e, como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_STRAUSS” com o atributo “ALT_NSPT10_25_PROF_Xn”. Cabe salientar que o intervalo de N_{SPT} para fundações do tipo *Strauss* encontra-se entre 10 e menor ou igual a 25. Para fundações relativas à hélice contínua, utilizou-se o operador “Classificar 20>ALT_NSPT_PROF_Xn<=45” e, como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_HELICE_CONTINUA” com o atributo ALT_NSPT20_45_PROF_Xn. Cabe salientar que o intervalo de N_{SPT} para fundações de hélice contínua encontra-se entre 20 e menor ou igual a 45. Partindo para fundações do tipo pré-moldadas de concreto com diâmetro igual ou superior à 30 centímetros, utilizou-se o operador “Classificar 25>ALT_NSPT_PROF_Xn<=35” e, como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_PRE_MOLDADA>=30” com o atributo “ALT_NSPT25_35_PROF_Xn”. Cabe salientar que o intervalo de N_{SPT} para fundações pré-moldadas com este diâmetro encontra-se entre 25 e menor ou igual a 35 golpes. Para as pré-moldadas de concreto com diâmetro inferior à 30 centímetros, utilizou-se o operador “Classificar 15>ALT_NSPT_PROF_Xn<25” e, como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_PRE_MOLDADA<30” com o atributo “ALT_NSPT15_25_PROF_Xn”. Cabe salientar que o intervalo de N_{SPT} para fundações de hélice contínua encontra-se entre 25 e menor ou igual a 35. Para a estaca raiz, utilizou-se o operador “Classificar ALT_NSPT_PROF_Xn>=60” e, como resultante, obteve-se a classe “APTIDAO_ESTACA_RAIZ” com o atributo “ALT_NSPT>=60_PROF_Xn”. O N_{SPT} para

fundações de estaca raiz encontra-se entre igual ou acima de 60, haja vista que estas podem penetrar em rocha sã.

No tocante aos relacionamentos entre fundações existentes, estes dados, conforme critérios dos padrões de armazenamento ditados pelos dicionários de dados e domínios nas seções anteriores, podem ser relacionados de diversas formas. Esta pesquisa objetivou descrever o relacionamento necessário para representar, por meio de interpolações espaciais, geocampos de fundações superficiais e profundas.

Sendo assim, na Figura 42, partiu-se da classe “FUNDACAO_EXISTENTE” sob primitiva de *ponto*, e foram utilizados operadores de seleção para dividir as fundações superficiais das profundas. Por este motivo, os prefixos “superficial” e “profunda” foram propostos pelo dicionário de dados da referida classe. O atributo geoespacializado será o “TIPO_FUNDACAO”. Dentro deste atributo, os domínios serão classificados conforme o critério de fundações superficiais ou profundas e, desta forma, gerar as subclasses “FUND_SUPERFICIAL” e “FUND_PROFUNDA” contendo, respectivamente, o atributo “TIPO_FUND_SUPERFICIAL” e “TIPO_FUND_PROFUNDA”.

Ainda em primitivas de *ponto*, caso a amostra seja dada como representativa, conforme preceitos estabelecidos pela geoestatística dos ensaios SPT, principalmente relativo ao trabalho de Zuquette (1993), por meio de interpolações espaciais, será possível a geração de superfícies sob primitiva de *tesselação* com a mesma nomenclatura e atributo.

A representação conceitual das fundações no BDG pode ser realizada de várias formas. Outra alternativa de representação e esquema dinâmico destes objetos geográficos são apresentados por Amorim *et al.* (2016) em que os autores utilizam a generalização cartográfica não espacial como forma de trazer especificidade aos tipos de fundações existentes, subdividindo-as em rasas e profundas igualmente.

Neste trabalho, a partir dos produtos originados por meio dos outros diagramas de classes e de transformação, a geoespacialização das fundações existentes atuará como fator de validação aos mapeamentos de aptidão às fundações. Conforme estudos de Santos (2016), as fundações existentes, tanto em âmbito pontual (primitivas de *ponto*), quanto em âmbito global (primitivas de *tesselação*) e sobreposições delas representam uma forma de legitimar os resultados obtidos através dos esquemas conceituais e dinâmicos dos outros atributos referentes à determinação do tipo de fundação.

Ressalta-se que, por meio da classe “FUNDACAO_EXISTENTE” e o conjunto de seus atributos, pode-se realizar diversas análises espaciais, haja vista a prévia padronização destes realizada por este trabalho.

O atributo “USO” que se destina ao armazenamento das tipologias de uso das edificações que estão suportadas pelas fundações existentes, permitem a produção de mapas de uso do solo, convergindo neste sentido à uma integração com o cadastro técnico municipal, por hora, multifinalitário. Ainda, este atributo subsidia análises pontuais no sentido em que existe a necessidade de compreender a utilização e a função das edificações vizinhas quando das etapas de projeto de fundação nos arredores da localidade.

Neste mesmo sentido, a geoespacialização dos sistemas construtivos permitirão aos projetistas geotécnicos estipular os métodos executivos mais adequados e menos impactantes para a vizinhança.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu alcançar aos objetivos estabelecidos e revelou aspectos importantes à literatura de mapeamento geotécnico sobre a organização e padronização dos dados necessários para a estruturação de um banco de dados que suporte a elaboração dos mapas de aptidão às fundações.

Assim, este capítulo pretende apresentar uma síntese dos resultados da pesquisa empreendida, as contribuições acadêmicas, implicações gerenciais, limitações e sugestões para pesquisas futuras.

6.2 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

Este estudo buscou subsidiar, em seu objetivo geral, o direcionamento da padronização das representações de dados geotécnicos e seus atributos, fornecendo um caminho para a estruturação e disponibilização destes, de forma a suportar a construção de mapas de aptidão às fundações. Para tanto foram utilizados preceitos da modelagem conceitual de dados.

Como resultados tem-se a definição básica do universo real, portanto, mais generalizada dos objetos geográficos que os mapas geotécnicos de aptidão às fundações abrangem. Desta forma foi possível ampliar o campo de conhecimento definindo o recorte do cenário observacional, analisar os trabalhos que deram consecução a estes mapeamentos notando-se uma alta variabilidade na elaboração de cada banco de dados e como estes foram armazenados dentro de cada tabela.

Ora, é possível concluir que cada pesquisa utilizava representações e armazenamentos diferentes para os mesmos fenômenos geográficos, especificamente quando no armazenamento dos laudos de sondagem SPT. Desta forma, a intenção de preservar a familiaridade do usuário com o retrato convencional (cartográfico) de fenômenos naturais ou artificiais, as estruturas dos dados particulares e das técnicas de organização do banco de dados incorporados a cada SIG dificultava o uso das ferramentas para conceber um sistema de informação espacial verdadeiramente genérico e que pudesse ser aplicado a qualquer área de estudo.

Assim, esta dissertação explorou as representações mais genéricas dos dados relativos a aptidão às fundações e para o próprio mapeamento geotécnico na forma de múltiplas representações, permitindo que aplicativos que percebem a realidade espacial de diferentes formas compartilhem o mesmo banco de dados geográficos. Sem esse recurso, a redundância no banco de dados geraria problemas de consistência ao longo das operações de atualização.

Destarte, o nível de abstração do mundo real é um compilado das metodologias de mapeamento geotécnico, e assim, estas foram recortados em um cenário genérico. Este trabalho alcançou a semântica de cada objeto que precisaria estar contido dentro do sistema, para posteriormente representá-los conceitualmente conforme os preceitos da OMT-G para determinação do fluxo de informações e suas interações no banco de dados do mapeamento geotécnico de aptidão às fundações.

Como principais resultados, teve-se a representação mais genérica de cada elemento necessário para elaboração deste tipo de carta, oriunda do mapeamento geotécnico. Cabe salientar, que esta modelagem se deu por meio da própria metodologia definida pela literatura, portanto, uma série de transformações e operadores de análises espaciais foram utilizados nos esquemas conceituais.

Por se tratar não apenas de relacionamentos entre classes de forma a gerar análises primárias, o cenário observacional foi delineado pela necessidade de transformações de classes, por hora primárias, que se derivavam em classes secundárias e por meio de operadores de análises espaciais puderam se concretizar e se relacionar tendo em vista suas cardinalidades, nos mapas finais. Ressalta-se que não foi objetivo deste trabalho gerar esquemas lógicos (de implementação do BDG), nem mesmo de construir apresentações oriundas de dados pré-existentes. Tampouco é objetivo aplicar o modelo produzido em uma área de estudo, mesmo que pequena, pois modelos conceituais sempre permitem a aplicação em qualquer universo, desde que haja a utilização de *softwares* que suportem a modelagem e SIG e também *hardwares* que comportem os dados físicos, quando existentes.

A partir da definição das classes primárias que subsidiariam as múltiplas representações e as devidas transformações conceituais, foram propostos um conjunto de conceitos formais com as quais as entidades geográficas puderam ser modeladas da forma em que foram percebidas e delineadas pelo primeiro objetivo específico.

Diante deste recorte observacional, foram definidas as classes básicas, com suas primitivas geográficas de pontos, polígonos, tesselações e subdivisões planares, as quais, por meio de operadores de análise espacial puderam ser convertidas em classes secundárias para se relacionarem entre elas e formarem os esquemas conceituais finais. Vale ressaltar que algumas classes básicas necessitaram a elaboração de dicionário de dados e de domínios justamente para padronizar quais os atributos necessários para alavancar a semântica e as interpolações e/ou classificações para a geração de novas informações.

Desta forma, os esquemas conceituais foram concretizados por meio de diagramas de classes, a princípio, para a definição do mapeamento geotécnico, que definiu o relacionamento

das classes pedológicas e geológicas, as transformações necessárias relacionáveis a altimetria do terreno por meio da classe de MDT e conseqüentemente sua classificação para alcançar aos mapas de declividade.

A partir de então, os relacionamentos foram dados exclusivamente aos produtos que as aptidões às fundações necessitavam. Para isso, foram produzidos os diagramas conceituais para inserção dos laudos de sondagem SPT e como estes poderiam ser armazenados dentro das tabelas ou classes geográficas no sistema.

Com a proposta de representação das sondagens, aliados as classes convencionais contendo os atributos necessários para cada furo em sua devida profundidade, foi possível realizar os demais esquemas no formato de diagramas, ou seja, aqueles necessários para a consecução das análises do impenetrável à percussão, do nível do lençol freático, tipos de solo, valores de N_{SPT} , tensões admissíveis, profundidade de estacas e os relacionamentos para as fundações existentes.

Junto aos diagramas, apresentaram-se alguns dicionários de dados, especificamente relacionados às classes geográficas de sondagem SPT e das tabelas de profundidade para discriminar os atributos e suas características. Outro dicionário importante que foi apresentado, é relativo às fundações existentes. Estes produtos, caracterizaram-se por trazer a forma com que os dados podem ser armazenados dentro de um sistema. Cabe salientar que independe, por estar em universo conceitual, qual o SIG utilizado, haja vista que os produtos oriundos destas tabelas não estão relacionados a qualquer *software* ou *hardware*.

As tabelas que objetivam dicionarizar os dados dentro de cada classe permitem uma visão padronizada dos atributos e, conseqüentemente, da classe necessária para realização dos relacionamentos e análises espaciais futuras, permitindo solucionar a lacuna delineada na introdução desta pesquisa.

Ainda de forma a padronizar os atributos, foram construídos alguns dicionários de domínios. Estes produtos possibilitarão trazer uma síntese igualitária para a determinação daqueles atributos que previamente foram determinados como selecionáveis. Este processo permite afirmar que gerará uma diminuição em vieses qualitativos de cada pesquisador no momento de coleta e/ou armazenamento dos dados.

No tocante ao objetivo geral do trabalho foi construída uma base sólida e que servirá como norteador para posterior implementação do banco de dados para elaboração das respectivas cartas de aptidão às fundações. Assim, de forma a auxiliar a construção e a disposição desta quantidade de dados, principalmente em tabelas que variam sua profundidade, o implementador possuirá respaldo técnico para a sua implementação.

As comunidades de SIG e o arcabouço bibliográfico que se mostrou no decorrer deste trabalho tem experienciado uma evolução gradual de um passado no qual nenhuma integração entre banco de dados para fins de mapeamento geotécnico de aptidão às fundações pudesse ser possível. Para um presente, a partir da definição de padrões de representação destes dados do território e geotécnicos, a replicação e a tradução destes permitirão a realização de um procedimento padrão.

6.3 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS

A presente pesquisa, desde a revisão teórica até a apresentação dos resultados, contribuiu para os estudos da geotecnia e do mapeamento geotécnico, especificamente, relacionados a sua multifinalidade que é a aptidão às fundações, preenchendo uma lacuna identificada na literatura, visto que não foram encontrados esquemas conceituais de dados geotécnicos que permitiriam a realização de relacionamentos e transformações de forma a estruturar um banco de dados que suportasse a realização de mapas de aptidão às fundações.

Ainda, o estudo abarca metodologias de elaboração destas cartas pouco exploradas pela literatura, tendo em vista que compreender a dinâmica do subsolo e abrindo às possibilidades de integrar os estudos por meio dos padrões estabelecidos, abrirão possibilidade para o avanço nas metodologias de aptidão às fundações determinadas pela ciência.

Ademais, por não se constituir de um trabalho de replicação de uma metodologia já definida, estes resultados permitiram uma visão macro dos fenômenos do mundo real (em seu ambiente conceitual), fazendo com que a representação destes objetos fosse feita de forma mais otimizada para que novos mapeamentos sejam concluídos e automatizados.

Sintetizar os relacionamentos necessários em seu universo conceitual possibilitou criar padrões de relacionamento e transformações ainda não discutidos. Analisar os objetos e suas ontologias e semânticas necessárias fez com que a temática central que se caracteriza pelas fundações e suas aptidões pudesse ser visualizada sob outras óticas, não apenas em seu universo lógico e físico, ou mesmo, apenas sobre a apresentação de mapas de dados já existentes.

Apesar das normas brasileiras estabelecerem prerrogativas essenciais que os laudos de sondagem SPT precisam apresentar em seus relatórios, há uma disparidade na realização destas descrições. Os resultados evidenciam a possibilidade de um avanço, inclusive, para a apresentação destes resultados em ambiente informatizado, e não em meio analógico.

6.4 CONTRIBUIÇÕES GERENCIAIS

O estudo evidenciou a possibilidade de gerenciamento de dados geotécnicos com alta variabilidade de atributos. Desta maneira, pode-se ter como contribuição gerencial, a partir deste, a elaboração de manuais internos às empresas públicas e privadas e que trabalhem com esta temática.

No âmbito da gestão pública, pesquisas como esta resultam na definição de padrões, principalmente sobre os dados de entrada, as quais permitirão prefeituras e órgãos públicos iniciarem seus processos de abstração do mundo real dos objetos necessários para compor análises relacionáveis ao Cadastro Territorial Multifinalitário.

Desta forma, aliar dados oriundos do subsolo, principalmente pedológicos, impactarão em uma maior objetividade nas definições do valor do solo, contribuindo diretamente para mitigar a subjetividade dos fiscais tributários quando no levantamento destes atributos. A inserção do uso do ensaio SPT como fonte primária, classificadora dos tipos de solo, impactará diretamente na qualidade e confiabilidade deste campo.

Ainda, este estudo contribui de forma a explicitar uma visão do início do processo de integração dos dados entre os setores públicos, na medida em que expõe um delineamento de materiais necessários que cada secretaria deverá adotar para se integrar as bases de dados cadastrais em uma única base.

Os esquemas conceituais trazem à luz um fluxo de como os bancos de dados destes órgãos se comportarão quando das análises e inserção dos mapas geotécnicos e de reconhecimento dos atributos do solo dentro dos órgãos públicos.

Os dicionários de dados podem servir como glossários e futuros manuais para os gerenciadores e produtores de dados que trabalham com planejamento urbano, pois facilitam o uso de uma linguagem padronizada e de possíveis criações de infraestruturas locais ou organizacionais.

No contexto privado, empresas de investigações geotécnicas, escritórios de projetos estruturais de fundação e de geologia ambiental, poderão, a partir dos resultados obtidos, construir seus próprios bancos de dados geotécnicos, com ênfase nas fundações. Isto retrata em um maior domínio do conhecimento quando contratadas para futuras obras ou campanhas de investigação.

Na medida em que empresas que realizam este tipo de sondagem armazenarem seus resultados conforme os padrões estabelecidos, estas serão possibilitadas de atuarem com mais assertividade em seus relatórios finais. Ainda neste contexto, por meio da criação desses

padrões de armazenamento, estas empresas poderão prever as profundidades médias conforme análises dos geocampos estabelecidos. Os resultados contribuem para que estas empresas sejam impulsionadas a criarem seus próprios manuais de inserção de dados geotécnicos.

6.5 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS

No que tange às limitações e recomendações para pesquisas futuras, este trabalho consiste em um primeiro esforço no sentido de construir esquemas conceituais que subsidiem o fluxo de informações dos mapeamentos geotécnicos de aptidão às fundações. Por trabalhar-se em um universo conceitual, trazendo a luz as representações do mundo real necessárias para a consecução deste tema na cartografia.

Desta forma, sob a perspectiva puramente geotécnica, este estudo limita-se em analisar o contexto único e compilado do mapeamento geotécnico com vistas às fundações. Para futuros estudos, aplicar este modelo de dados, de forma a implementar um banco de dados em uma área de estudo delimitada, possibilitará compreender como os relacionamentos se concretizarão por meio de um *software* e *hardware* estabelecidos.

Naturalmente, conforme os objetivos traçados nesta dissertação, a implementação do banco de dados não foi enfocada, haja vista que, *a priori*, compreender os estudos destes mapeamentos e verificar sua disparidade nas criações destes BDG levaram esta pesquisa a limitar-se em propor um padrão de armazenamento e relacionamento. Entretanto, não se exclui a importância de aplicá-la a um “limite territorial”.

Pesquisas futuras poderão, além de aplicar o modelo proposto em uma área de estudo, explorar a temática geotécnica mais profundamente, especificamente em relação a definição de novos atributos que se relacionam a estratigrafia dos solos. Como avanços neste modelo, propõem-se a definição de outros tipos de solo, aliando suas classificações mais genéricas com classificações de compacidade, cor, resistência ao cisalhamento, e outros fatores que o campo necessitar. Ainda na perspectiva da geotecnia, futuras pesquisas podem explorar com maior rigor, outros tipos de fundações, incluindo-as dentro do modelo.

Sob a perspectiva da própria modelagem conceitual, especificamente aos padrões estabelecidos pelo OMT-G, propõe-se que novas investigações explorem formas de apresentação destes dados, com base em estudos detalhados sobre cartografia temática e cadastral. Assim, a partir destas definições, o implementador será subsidiado, e os padrões de visualização destas cartas estarão cada vez mais perto de uma linguagem visual igualitária.

Novos artigos podem se basear neste trabalho, na medida em que definirem novos padrões de relacionamento, com a utilização de novos operadores de análises espaciais para os mesmos objetos geográficos.

Por fim, salienta-se, conforme a própria bibliografia de modelagem conceitual de dados, que não existe um modelo pronto, visto que, o mundo é feito de coisas, que estão continuamente em transformação, coisas estas que se relacionam, por vezes de formas diferentes com o passar do tempo e com o avanço tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ABDAT, N. *et al.* A GIS TOOL for the evaluation of the seismic risk: Application to the seismic risks of Algiers. In: **XXII International Cartographic Conference (ICC 2005), Espagne, Juillet 2005**. 2005.
- ABREU, A. F. **Sistemas de Informações Gerenciais: uma abordagem orientada aos negócios**. Florianópolis: IGTI, 1999. 113p.
- ABREU, M.; MACHADO, F. N. R. Projeto de Banco de Dados: Uma Visão Prática. Erica, 1999.
- AGUIAR, C. C. N. **Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos rotacionais na microbacia do Ribeirão Baú - Ilhota/SC**. 2018. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- AGUIAR, R. L. Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal (DF). **São Carlos, SP**, 1994.
- AL-JABBAN, W. J. M. Estimation of Standard Penetration Test (SPT) of Hilla City-Iraq by Using GPS Coordination. **Jordan Journal of Civil Engineering**, Volume 7, No. 2, 2013.
- AL-MAMOORI, S. K. Gypsum Content Horizontal and Vertical Distribution of An-Najaf and Al-Kufa Cities' Soil by Using GIS. **Basrah Journal for Engineering Science**, v. 17, n. 1, p. 48-60, 2017.
- ALMEIDA, G. A. G.; ALBRECHT, K. J. Banco de dados digital das sondagens de simples reconhecimento (SPT): subsídio ao planejamento urbano. In: **10º Congresso brasileiro de geologia de engenharia e ambiental, Ouro Preto, MG**. 2002.
- AMORIM, D. G. A.; ZAINÉ, J. E.; RODRIGUES, F. H. Avaliação de suscetibilidade à erosão e movimentação gravitacional de massa no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha (SP). **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 2, p. 3-21, 2017.
- AMORIM, L. *et al.* Modelagem conceitual de bancos de dados espaciais para análise geotécnica. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 1, 2016.
- ANDRADE, L. C. O.; BORBA, P.; PAULO, M. C. M. Agregação hierárquica de geo-objetos: uma abordagem baseada em software livre. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 8, 2016.
- ANDRADE, P. S.; FERREIRA, M. Q. A cartografia geológico-geotécnica aplicada à geotecnia. Exemplos de aplicação em Portugal. **Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural**, n. 14, p. 193-208, 2017.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2003. 165 p.
- ARAÚJO, F. S.; BIAS, E.; HOLANDA, M. T. Proposta de um modelo conceitual de banco de

dados geográficos para o cadastro territorial multifinalitário do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio, norma que orienta o ensaio de SPT – *Standart Penetration Test* para obras de construção civil e geológico/geotécnicas. Rio de Janeiro: 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: 1982.

BARBOSA, A. M. *et al.* Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para Mapas Temáticos de Ecoturismo: Subsídios para Planejamento. **Geografia (Rio Claro)**, v. 32, p. 423-441, 2007.

BARBOSA, A. M.; SOARES, J. V.; MEDEIROS, J. S. Subsídios para o planejamento em ecoturismo, na região do Médio Rio Grande (MG), utilizando geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 2035-2042, 2005.

BARROSO, J. A. *et al.* Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region In: **International IAEG Congress**. Buenos Aires, 1986.

BARROSO, J. A.; CABRAL, S.; MATTA, C. S. Subsídios geológicos-geotécnicos como apoio ao plano diretor do município do Rio de Janeiro In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**. Poços de Caldas, 1993. ABGE, 1993.

BÉDARD, Y.; PAQUETTE, F. Extending entity/relationship formalism for spatial information systems. In: **in Proceedings of AUTOCARTO**. 1989.

BERTINI, G. C.; CESAR NETO, J. Uma Modelagem Orientada a Objeto para o Mapa Urbano Básico de Belo Horizonte (MUB/BH). **Informática Pública**, v. 6, p. 33-51, maio 2004.

BETIATTO, P. *et al.* Uso de um banco de dados na estimativa do recalque de argilas moles de Florianópolis/SC. In: **16º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ambiental**, 2018.

BISPO, P. C. *et al.* Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP com o uso de técnicas de geoprocessamento. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, 2009. XIV, p. 3583–3590.

BITAR, O.Y.; CERRI, L.E.S.; NAKAZAWA, V. A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: **Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano**, 2., São Paulo, 1992. **Anais ...** São Paulo, 1992. p.35-41.

BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos: uma Extensão do Modelo OMT**

para Aplicações Geográficas. Belo Horizonte, 1997. 128p. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Escola de Governo - Fundação João Pinheiro. 1997.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. *In: CASANOVA, et al. Banco de Dados Geográfico.* MundoGEO: Curitiba, 2005. Cap. 1, p. 83-136.

BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F. Geo-OMT—uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas. *In: IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento.* 1997. p. 252-262.

BORGES, K. A.V. **Modelagem de banco de dados geográficos.** Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento. UFMG. 2002.

BORGES, K.; DAVIS JÚNIOR, C. Modelagem de Dados Geográficos. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** 2004. Cap. 4.

BORGES, M. V. **Cartografia geotécnica da cidade de Rio Branco—Acre: uso de estatística descritiva, geostatística e estatística multivariada.** 2018. 319 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BOZIO, A. F. *et al.* Mapeamento geotécnico como subsídio à gestão territorial: um itinerário sobre a produção científica do século XXI. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 30730-30744, 2022.

BOZIO, A. F.; JACINTO, H. A. O mapeamento geotécnico como instrumento de gestão do território: uma análise bibliométrica da produção científica nacional e internacional. *In: Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial.*, 14., 2020, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. **Principles of Geographic Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics.** New York: Oxford, 1998. 332p.

CAIXETA, A. C. M.; FERREIRA, V. O.; NISHIYAMA, L. Caracterização geotécnica e geoambiental da bacia do Córrego São Pedro-Uberlândia. **Sociedade & Natureza**, v. 31, 2019.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Campinas: Instituto de Computação (UNICAMP), 1996. 197p.

CAMARA, G. S.; CAMBOIM, S. P.; CAMPOS, R. G. Smart Mobility: Solução de Geoinformação para Estudos em Mobilidade Urbana. **Revista Técnico-Científica**, n. 20, 2019.

CAMERON, D. **Role of vegetation in stabilizing highly plastic clay subgrades.** Tese (Doutorado) - Birmingham University Press. 2006.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 1: Fundamentos.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 512 p.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, volume 1: fundamentos.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 256 p.

CARAMEZ, M. L. **Mapeamento geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – aplicação do modelo Shalstab para a confecção de mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos de encostas**. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CARAMEZ, M. L.; HIGASHI, R. A. R. Utilização de técnicas de geoprocessamento através de um SIG para a estimativa de características mecânicas dos solos do município de Florianópolis. **15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba**, 2011.

CARRENO, C. A. **Mapeamento da aptidão à urbanização da bacia hidrográfica do Rio Ratonos mediante o estudo da erodibilidade dos solos residuais**. 2017. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CARVALHO, G. N. *et al.* Database modeling to integrate macrobenthos data in Spatial Data Infrastructure. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 195-213, 2012.

CARVALHO, I. M. *et al.* Integração entre SR e SIG para a modelagem e o gerenciamento de dados espaçotemporais de temperatura de superfície utilizando imagens do sensor ETM do LANDSAT 7. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, p. 619-626. 2015.

CARVALHO, M.; GHERARDI, D. F. M. Modelagem de um banco de dados geográficos para o mapeamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na zona costeira. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 2101-2108, 2005.

CERRI, L. E. S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*. 1990. p. 309-17.

CHAMINÉ, H. I. *et al.* From engineering geosciences mapping towards sustainable urban planning. **Eur. Geol. J**, v. 41, p. 16-25, 2016.

CHOI, W. Institutional Issues of the Spatial Data Exchange in Korea. *In: FIG INTERNATIONAL CONGRESS, XXII, Washington, 2002. Proceedings...* Washington: FIG, 2002.

CHRISMAN, N. **Exploring Géographie Information Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 298 p.

CHRIST, C. E. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CINTRA, J. C. A. *et al.* **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. Oficina de Textos, 2013.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas - Projeto Geotécnico**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 96 p.

CIPULLO, R. A.; ROIG, H. L. Modelagem de banco de dados espacial para estudos

geológicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, 2013.

CLAYTON, C. R. I. *et al.* Stresses in cast-iron pipes due to seasonal shrink-swell of clay soils. *In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*. Thomas Telford Ltd, 2010. p. 157-162.

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. 2010.

CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais. Versão 2.0**, 2007.

CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Relação de classes e objetos da estrutura de dados vetoriais da Mapoteca Nacional Digital (MND). Versão 01**, 2005.

CORREA, P. O.; DAVIS JR, C, A.; Modelagem de dados geográficos para sistema urbano de tratamento e distribuição de água. *In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. 2008.

COSTA JUNIOR, H. **Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas de São José dos Pinhais - SC**. 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

COSTA, A. N.; ALVES, M. G. Potencial De Uso E Ocupação Urbana Do Solo No Município De Campos Dos Goytacazes-RJ, Utilizando Mapeamento Geológico-Geotécnico E Técnicas De Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 2, 2006.

COSTA, P. F. *et al.* Estratégia de Extração de Informações Geográficas de Mídia Social do Foursquare por Mineração de Dados. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, n. 1, 2019.

COSTA, P. F. *et al.* Strategy for extraction of foursquare's social media geographic information through data mining. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, 2019.

COSTA, W.; FONSECA, L.; KÖRTING, T. Classifying grasslands and cultivated pastures in the Brazilian cerrado using Support Vector Machines, Multilayer Perceptrons and Autoencoders. *In: International Workshop on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*. Springer, Cham, 2015. p. 187-198.

COSTELLA, M. C. **Mapeamento de áreas suscetíveis a movimento de massa na bacia hidrográfica do Saco Grande em Florianópolis/SC**. 2018. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

COUGO, P. **Modelagem conceitual e projeto de banco de dados**. Rio de Janeiro: Gen Ltc, 1997. 296 p.

COUTO, R. S. **Estruturação, Modelagem e Implementação de Banco de Dados Geoespaciais para o Cadastro Ambiental Rural**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

COUTO, R. S. *et al.* Proposição de modelo conceitual de banco de dados geoespacial para o cadastro ambiental rural. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasil, v. 7, n. 69, p. 1313-1337, ago. 2017.

CRAVEIRO, G. K. C. **Metodologia para implementação de um Sistema de Informações Geográficas para ambiente urbano**. 2004. 194f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transporte) - Curso de Pós-Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CUNHA, N. K. P. P. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT para o bairro de Canasvieiras, Florianópolis/SC**. 2021. 154 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

DAS, B.; SOBHAN, K. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Cengage Learning, 2017. 630 p.

DAVENPORT, T. H. Ecologia da informação: por que só tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. 5. ed. São Paulo: Futura, 2002. 316 p.

DAVIS JR., C. A.; FONSECA, F. T. Assessing the certainty of locations produced by an address geocoding system. **Geoinformatica**, v. 11, n. 1, p. 103-129, 2007.

DAVIS JR., C. A.; BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F. Restrições de integridade em bancos de dados geográficos. *In: III Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2001). Rio de Janeiro (RJ)*. 2001. p. 63-70.

DAVIS JR., C. A.; LAENDER, A. H. F. Extensões ao modelo OMT-G para produção de esquemas dinâmicos e de apresentação. *In: Workshop Brasileiro de GeoInformática*. sn, 2000.

DAVIS JR., C. A.; LAENDER, A. H. F. Multiple representations in GIS: materialization through map generalization, geometric, and spatial analysis operations. *In: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*. 1999. p. 60-65.

DAVIS JR., C. A. **Múltiplas Representações em Sistemas de informação Geográficos**. 2000. 106 f. 2000. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) - UFMG, Belo Horizonte.

DAVISON DIAS, R. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, n. esp, p. 51-55, 1995.

DAVISON DIAS, R. Proposta de uma metodologia de estudos geotécnicos para implantação de rodovias, estradas rurais e vicinais em solos brasileiros. *In: Reunião Anual de Pavimentação*, 33. 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: ABPv, 2001, v. 1, p. 13-25.

DEBICHE, F. *et al.* Use of GIS Systems to Analyze Soil Compressibility, Swelling and Bearing Capacity Under Superficial Foundations in Algiers Region, Algeria. **Urbanism. Arhitectura. Constructii**, v. 9, n. 4, p. 357-370, 2018.

DELGADO, D. F. F.; GARCÍA, D. K. F. Los Sistemas de Información Geográfica. Una revisión. **FAGROPEC-Facultad de Ciencias Agropecuarias**, v. 9, n. 1, p. 11-16, 2017.

DODAGOUDAR, G. R. *et al.* An integrated geotechnical database and GIS for 3D subsurface modelling: Application to Chennai City, India. **Applied Geomatics**, v. 10, n. 1, p. 47-64, 2018.

DUARTE, S. B. **Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição - Florianópolis**. 1999. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

EL AAL, A.; MASOUD, A. A. Geotechnical mapping of Najran soils for safe urban expansion, Najran Region, Saudi Arabia. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 2003-2020, 2018.

ELMASRI, R. NAVATHE, S. B. **Fundamentals of Database Systems**. 3ed Menlo Park: AddisonWesley, 2000.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados**. 4. ed. Brasil: Pearson Brazil, 2005. 724 p.

ELMIRO, M. A. T. *et al.* Análise da redução do Índice de Qualidade da Água (IQA) utilizando Ambientes de Geoprocessamento. *In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia*. 2005. p. 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2013. 353p. ISSN 978-85-7035-198-2

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.

FABRIN, A. **Uso de Banco de Dados com Aplicações de Correlações para a Estimativa de Parâmetros Geotécnicos de Argilas Moles de Florianópolis/SC**. 2017. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

FELISBINO, M. **Mapeamento Geotécnico e Cartas de Aptidão para Fundações do Município de São José/SC**. 2021. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

FERNANDES, E. **Uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), na Integração de Mapas Temáticos do Município de São Francisco do Sul - SC**. 1995. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa

Catarina, Florianópolis, 1995.

FERNANDES, F. M.; CERRI, L. E. S. Elaboração da carta geotécnica de suscetibilidade de um trecho da rodovia marechal rondon-sp-300 (SP, Brasil). **Geociências (São Paulo)**, v. 30, n. 3, p. 457-465, 2011.

FERRAZ, V. R. T.; CARNEIRO, M. C. V. S.; FELIX, S. A. Sistema *web* de informação geográfica para análise e prevenção da criminalidade. **Revista LEVS**, n. 2, 2008.

FLACH, M. K. **Comparação entre os dados obtidos pelo *Borehole Shear Test* e ensaio de cisalhamento direto no mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. 2020. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

FOLLE, D. *et al.* A Procedure to Quantify the Variability of Geotechnical Properties. **Soils and Rocks**, v. 2, n. 33, 2008.

FRANÇA, C. C. **Aplicação do Método de Bishop e do modelo Shalstab para estimativa de áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia do Rio Forquilhas – São José (SC)**. 2018. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

FRANCO, G. B. *et al.* Cartografia geotécnica: estágio atual do conhecimento - geotechnical cartography: actual state knowledge. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, 2010.

FREITAS, L. B. *et al.* Identificação de zonas de pesca potenciais do Dourado (*Coryphaena hippurus*) na costa sudeste brasileira. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, v. 15, p. 7121-7128, 2011.

GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L. V. Study of the applied comparison between two engineering geological mapping methodologies. *In: International Association of Engineering Geology. International Congress. 5*. 1986. p. 1769-1780.

GIOIA, T. B.; BARROS, M. V. F. Geoprocessamento Aplicado ao Estudo do ICH-Índice de Carência Habitacional para o Município de São José dos Campos a partir dos censos demográficos de 2000 e 2010. **Geosul**, v. 29, n. 57, p. 131-156, 2014.

GÓES, C. A.; CARVALHO, M. Análise da distribuição de larvas de lagostas (*Crustacea: Decapoda: Palinuridae*) na costa do Nordeste do Brasil utilizando Sistema de Informações Geográficas. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, p. 16-21. 2005.

GOMES, M. M. **Caracterização de Unidade Geotécnica com Ênfase na Capacidade de Suporte do Subsolo da Bacia do Rio Papaquara - Florianópolis/SC**. 2018. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GOMES, R. L.; TEIXEIRA, N. N. Caracterização do meio físico para avaliação ambiental de área de instalação de posto de combustível. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 28, n. 2, p. 109-

125, 2011.

GONÇALVES, R. P. **Modelagem conceitual de bancos de dados geográficos para cadastro técnico multifinalitário em municípios de pequeno e médio porte**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

GOODCHILD, M. F., Geographical data modeling. London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.

GORDILLO, S.; BALAGUER, F. Refining an object-oriented GIS design model: topologies and field data. In: **Proceedings of the 6th ACM international symposium on Advances in geographic information systems**. 1998. p. 76-81.

GUARESI, C. M. **Modelo de banco de dados geotécnicos vinculados a um sistema de informações georreferenciadas da Grande Florianópolis**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

GUESSER, L. H. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC**. 2013. 168 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GUESSER, L. H. **Mapeamento geotécnico da área urbana do município de Antônio Carlos (SC) aplicado ao planejamento do uso e ocupação dos solos**. 2016. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GUILHERME, A. T. P. *et al.* Previsão estatística e mapeamento das propriedades geotécnicas dos solos da microrregião de Mossoró-RN. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 4, p. 22297-22318, 2020

GURE, E. G.; WELDEAREGAY, K.; BIRHANE, G. Engineering geological and geotechnical appraisal of Northern Mekelle town, Tigray, Northern Ethiopia. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 5, n. 1, p. 23-56, 2013.

HACHICH, W. *et al.* **Fundações: Teoria e Prática**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998.

HEIDEMANN, M. Mapa Geotécnico de Potencial Erosivo de uma Área de Expansão Urbana de Tubarão-SC. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2014.

HEUSER, C. A. **Projeto de Banco de Dados**. 6. ed. Brasil: Bookman, 2009. 282 p.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 2006. 398 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HIGASHI, R.R.; BIM, R. Mapeamento geotécnico de áreas de risco através de sistemas de informações geográficas e simulações computacionais no município de Palhoça. **Cadernos Acadêmicos**, v. 2, n. 1, p. 46-52, 2010.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **Introduction to Geotechnical Engineering**. Prentice Hall, 1981. 1142 p.

HOUMADI, Y. H.; MAMOUNE, S. M. A.; BELAKHDAR, K. Swelling and Geotechnical Cartography of Saida Soils. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 3, n. 1, p. 32-40, 2009.

HÜBNER, C. E. **Proposta de Gestão de Dados Cadastrais para Gestão Sócio-Patrimonial de Empreendimentos de Geração de Energia Hidrelétrica em Fase de Implantação**. 2012. 339 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

HÜBNER, C. E.; OLIVEIRA, F. H.; DAL SANTO, M. A. Proposta de gestão de dados cadastrais no contexto sócio-patrimonial de empreendimentos de geração de energia hidrelétrica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 2, 2013.

HUMYRA, T. *et al.* Preparation of SPT contour map of Rajshahi City area and its application to foundation design. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 12, n. 2, p. 11-17, 2012.

IESCHECK, A. L. **Representação e visualização volumétrica de dados espaciais para avaliação de solos**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ISOPPO, A.; COLZANI, R. **Estruturação e utilização de um banco de dados geotécnico da ilha de Santa Catarina em SIG**. 2013. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da Segunda Edição. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

KER, J. C. *et al.* (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

LAGO, D. Modelagem de banco de dados geográfico para subsídio a gestão integrada de recursos hídricos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v.1, p. 79-90, 2006.

LEITE, D. P. *et al.* Sistema de Informação Geográfico para Gestão de Resíduos Sólidos da Região da Serra Catarinense–GEORES. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2015.

LEITE, P. A. M. **Análise da resistência do solo no município de Porto Alegre através de Sondagem SPT e a comparação com as litologias da região**. 2015. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LILLOUCH, S.; MEZIANE, Y. A.; BENDADOUCHE, H. Geotechnical cartographic synthesis of Bejaia city, North East of Algeria. **Journal of the Geological Society of India**, v. 91, n. 3, p. 348-354, 2018.

LISBOA FILHO, J. *et al.* Modelagem conceitual de bancos de dados geográficos: o estudo de caso do Projeto PADCT/CIAMB. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Centro de Ecologia. Carvão e meio ambiente. Porto Alegre: A Universidade, 2000. p. 440-458, 2000.**

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Modelagem de Bancos de Dados Geográficos. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001.**

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos. **Revista IP-Informática Pública**, v. 1, n. 2, p. 37-90, 1999.

LIZARDO, L. E. O.; DAVIS JR, C. A. A PostGIS extension to support advanced spatial data types and integrity constraints. *In: Proceedings of the 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems.* 2017. p. 1-10.

LONGLEY, P. *et al.* Geographic Information Systems and Science. 2 ed. John Wiley and Sons, Ltd. 2005.

LONGLEY, P.A. *et al.* **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** 3. ed. Brasil: Bookman Companhia Editora, 2013. 560 p.

LUPATINI, M. *et al.* Mapeamento geotécnico do subsolo de Lucas do Rio Verde–MT com base em ensaios DPL e SPT. **Revista Uningá Review**, v. 33, n. 2, p. 151-179, 2018.

MAFRA JÚNIOR, C. S. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG.** 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MALAAININE, M. I. *et al.* OMT-G modeling and cloud implementation of a reference database of addressing in Morocco. **Journal of Geographic Information System**, 2013, 5, 235-241. 2013.

MARQUES, M. E. S.; BERBERT, L. A.; AGUIAR, W. B. Mapeamento geotécnico de um depósito de solo compressível em Guaratiba, Rio de Janeiro. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 33, n. 2, p. 48-56, 2016.

MARTÍNEZ-GRANA, A. *et al.* Engineering geology maps for planning and management of natural parks: “Las Batuecas-Sierra de Francia” and “Quilamas” (Central Spanish System, Salamanca, Spain). **Geosciences**, v. 3, n. 1, p. 46-62, 2013.

MARTINS, J. B. **Mapeamento de resistividade do solo para o dimensionamento do SPDA: Bacia hidrográfica do Rio Forquilhas.** 2017. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MASOUD, A. A. Geotechnical site suitability mapping for urban land management in Tanta District, Egypt. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 9, n. 5, p. 340, 2016.

MASSOCCO, N. S. Interpretação preliminar da geologia e pedologia do Município de Gaspar [SC] para a formação de um mapeamento geotécnico. **Labor e Engenho**, v. 13, p. e019006-

e019006, 2019.

MATSUOKA, J. V.; FERNANDES, N. R. P. Implementação de um sistema de informações geográficas (SIG) para o monitoramento do aterro sanitário da cidade Monte Carmelo–MG. **Revista GeTeC**, v. 7, n. 15, 2018.

MCGEE, J.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica**. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 242p.

MEINBERG, F. F. Ferramentas para a Análise de Acidentes de Trânsito com o Uso de um Sistema de Informação Geográfico. **Informática Pública**, v. 5, n. 1, p. 79-99, 2003.

MELO, C. M. **Efeito da caracterização das unidades geotécnicas no mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos com modelo *Shalstab***. 2018. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

MELO, C. M.; KOBIYAMA, M. Aplicação do modelo SHALSTAB no estudo de escorregamentos no Brasil: revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 2018.

MICHELS, D. G. **Mapeamento Geotécnico para elaboração de Cartas de Aptidão para área urbana de Braço do Norte/SC Dissertação**. 2020. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. Oficina de textos, 2015.

MIRANDA, T. C. **Mapeamento das unidades geotécnicas e desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas para área de abrangência da Rodovia BR-101/RS**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

MOHAMMED, A. M. S.; HOUMADI, Y.; BELLAKHDAR, K. Geotechnical risks map of Saïda city, Algeria. **Electron J Geotech Eng**, v. 15, n. E, p. 403-414, 2010.

MORAES, D. C.; FERREIRA, A. C. M. Utilização de banco de dados geográfico como apoio ao gerenciamento de redes de esgotamento sanitário. **Caderno de Estudos Tecnológicos**, v. 2, n. 1, p. 133-148, 2014.

MOREIRA, M. M. *et al.* Carta Piezométrica do Aquífero Semi-Confinado Barreiras na Área Urbana de Natal – RN: Geotecnologias, Espacialização e SIG Aplicado ao Gerenciamento de Deslizamentos e Inundações. *In: VII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis 2017.

MOROSSINO, A. C. **Aplicação de SIG para o mapeamento geotécnico e a elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT para o bairro de Jurerê – Florianópolis/SC**. 2021. 163 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

MOUNA, R.; MOHAMED, B.; KALLA, M. Mapping removal swelling clay soils in the aures (n'gaous) Algeria. **Annals of the University of Oradea, Geography Series/Analele Universitatii din Oradea, Seria Geografie**, v. 26, n. 2, 2016.

MOURA, A.R.L.U.; GUSMÃO, A.D.; ALVES, F. Modelagem conceitual de banco de dados espaciais para análise geotécnica. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 4032-4039). Santos: 2017.

MOURA, V. *et al.* Mapping of partican plants [Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex. Ducke) Barneby] in the municipality of Ouro Preto do Oeste, RO. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. Especial, p. 594-600, 2017.

NAKAZAWA *et al.* Cartografia geotécnica: aplicação como pressuposto. *In: Simpósio de Geologia do Sudeste*, 2, São Paulo, 1991.

NASCIMENTO, C. A.; LARIOS, M. R. B. Cartas geotécnicas: desenvolvimento de software gerador de perfil de resistência à penetração do subsolo do UNASP-EC. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 73, p. 321–331-321–331, 2020.

NAU, D. R. **Análise da suscetibilidade a deslizamentos no município de Timbó/SC**. 2018. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Desastres Naturais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

OLAYA, Sistemas de Información Geográfica. España. 2014. 854 p.

OLIVEIRA, B. R. *et al.* Tridimensional geotechnical database modeling as a subsidy to the standardization of geospatial geotechnical data. **Soils and Rocks**, v. 44, 2021.

OLIVEIRA, F. S. S. **Diagnóstico e banco de dados das propriedades geotécnicas da duplicação do Lote 4 da BR-470/SC com auxílio de um SIG**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

OLIVEIRA, J. C. C. **Construção de um Banco de Dados Geotécnicos com Base em Sondagens SPT e Uso de Ferramenta SIG: Estudo de Caso Solos do Tocantins, Com Ênfase na Capital Palmas - TO**. 2018. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

OLIVEIRA, J. C. *et al.* Modelagem de dados geográficos: aplicação na gestão de áreas de preservação permanente. **Revista Geografica Academica**, v. 7, n. 2, p. 22-30, 2013.

OLIVEIRA, J. P.; PIRES, F.; MEDEIROS, C. M. B. An environment for modeling and design of geographic applications, **GeoInformatica**, Vol.1(1):29-58,1997.

OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA, F. H. Verificação da integração entre o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR) sob a ótica do cadastro territorial multifinalitário. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 339-357, 2019.

OLIVEIRA, W. J. *et al.* Geotechnical Thematic Maps of PETROBRAS Pipeway.

In: **International Pipeline Conference**. 2004. p. 655-662.

PÊGAS, A. V. P. R. S.; LÔBO, A. L. S.; OLIVEIRA, C. B.; OLIVEIRA, G. V. T. O uso da sondagem em projetos de fundações. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 2934-2947, 30 jul. 2022.

PELEGRINA, M. A.; SOUSA NETO, J. A.; MORAES, A. F. Implementation of SDI specifications applied to multipurpose cadastres in urban areas: a proposal for Brazilian Cartography Structuring. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 2, 2012.

PEREINSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Manual Técnico de Pedologia** – 2. ed. Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, E. D.; ZAINÉ, J. E. Mapa geológico-geotécnico da bacia do rio Bacanga–São Luís (Ma). **Geociências (São Paulo)**, v. 26, n. 1, p. 45-54, 2007.

PEREIRA, M. F. F. **Gerenciamento da informação: um diagnóstico da micro e pequena empresa industrial de Londrina**. 2003. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PESCIM, Rodrigo R. *et al.* The beta generalized half-normal distribution. **Computational statistics & data analysis**, v. 54, n. 4, p. 945-957, 2010.

PIMENTEL, H. W.; MOURA, A. S.; CARNEIRO, A. Proposta de uma carta geotécnica preliminar de fundações para a região centro-norte de Fortaleza-CE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2020.

PINA, B.; JEREMIAS, F. Aplicação de um SIG à Informação Geológico-geotécnica obtida no reconhecimento do local do NAL-CTA. **E-Terra, Revista Electrónica de Ciências da Terra**, v. 22, n. 8, 2010.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

POLIVANOV, H.; BARROSO, E. V. Geotecnia urbana. **GUERRA AJT; CUNHA SB Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil LTDA, p. 178-184, 2011.

PONS, N. A. D.; PEJON, O. J. Aplicação do SIG em estudos de degradação ambiental: o caso de São Carlos (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 295-302, 2008.

PRANDINI, L. F. *et al.* Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1995.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. **Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos**. GeoBrasil, 2006. INPE. Disponível em:<www.dpi.inpe.br/TutorialBdGeo_GeoBrasil2006.pdf> Acesso em: 23 de março de 2020.

REBELLO, Y. C. P. Fundações: Guia Prático de Projeto. **Execução e Dimensionamento, 3a ed.**, Editora Zigurate, São Paulo, 2011.

REGINATO, V. S. C.; HUBNER, C.E.; ABATI, S. Reconstrução Cadastral de Propriedades Atingidas por Linhas de Transmissão da Empresa Eletrosul. *In: COBRAC 2018*. 2018.

REGINATO, V. S. C.; JULIÃO, R. P. Geographic modelling of wind and solar energy potential. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 25, n. 3, 2019.

REGINATO, V. S. C.; JULIÃO, R. P. S. P. M. Modelagem conceitual para identificação de áreas com potencial para geração de energia por fonte renovável. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, v. 1, n. 9, p. 65-89, 2016.

REGINATO, V. S. C.; JULIÃO, R. P. S. P. M. Modelagem geográfica e energias renováveis. **II Jornadas Lusófonas-Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica-CTIG2017**, p. 134-141, 2017.

REGINATTO, G. M. P. **Caracterização de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros – SC, com ênfase em escorregamentos translacionais**. 2013. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

REINHARDT, A. O.; SILVA, D. B.; VERONEZ, M. R. Modeling and implementation of geographic database applied to urban regulation. **Anais II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. p. 778-783. 2007.

RIBEIRO, A. J. A.; SILVA, C. A. U.; BARROSO, S. H. A. Metodologia de baixo custo para mapeamento geotécnico aplicado à pavimentação. *Transportes*, v. 26, n. 2, p. 84-100, 2018.

ROCHA, E. C. O.; DE SÁ, L. A. C. M.; CARNEIRO, E. L. N. C. Modelagem de dados espaciais para acessibilidade ao espaço urbano por pessoa em cadeira de rodas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 10, 2016.

ROSNIECEK, H. N.; IMAI, A. **Mapeamento Geotécnico e Análise de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Rasos da Bacia do Rio Ratonés – Aplicação do Modelo *Shalstab***. 2013. 155 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ROSOLEM, G. P. N. *et al.* A influência da qualidade dos produtos cartográficos para análise de deslizamentos translacionais através da aplicação do modelo *Shalstab*. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 1, 2017.

ROSOLEM, G. P. N. **Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na bacia do Rio Forquilhas – São José-SC**. 2014. 164 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RUGG, R. D.; DOBSON, J. E.; EGENHOFER, M. J. Formalisms and schema languages for modeling geographic information. Santa Barbara, CA: Federal Geographic Data Committee, University Consortium for Geographic Information Science, 1998.

RUIZ JUNIOR, L. D.; OLIVEIRA, R. C. Áreas protegidas e expansão do uso da terra no litoral

norte do estado de São Paulo. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 48, 2013.

RUMBAUGH, J. *et al.* **Object-oriented modeling and design**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall, 1991.

RYTTERSGAARD, J. Commission 3 Spatial Information Management – Progress Report. *In: FIG INTERNATIONAL CONGRESS, XXII, 2002, Washington. Proceedings...* Washington: FIG, 2002.

SAATKAMP, H. *et al.* Sistema de Informação Geográfica para Análise de dados Sismológicos. *In: V Simpósio Brasileiro de Geofísica*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2012. p. cp-341-00154.

SANTOS, A.; ALMEIDA, M. I. B.; RAMOS, H. F. Considerações sobre a importância da modelagem de banco de dados para estruturação de sistemas de informações geográficas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, II, COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, V, 2007, Presidente Prudente. Anais...* Presidente Prudente: 2007. P. 240-245.

SANTOS, J. V. **Aplicação de SIG para análise do perfil geológico-geotécnico do Campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT**. 2016. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, J. V.; THIESEN, S.; HIGASHI, R. A. R. Geological-Geotechnical database from standard penetration test investigations using geographic information systems. *In: Management of Information Systems*. IntechOpen, 2018.

SANTOS, L.; FERREIRA, D. L. Sistema de Informação Geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes. **Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 12, 2004.

SANTOS, P. R. C.; DAIBERT, J. D. **Análise dos Solos – Formação, classificação e conservação do meio ambiente**. São Paulo: Ed. Saraiva, 2014.

SANTOS, V. **Influência da escala no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa com o Shalstab na microbacia do Ribeirão do Bau, Ilhota/SC**. 2015. 126 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, Y. L.; FILHO, H. P. F.; HOLANDA, M. Web Geographic Information System of the Luziânia city. *In: 2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE, 2016. p. 1-6.

SBROGLIA, R. M. *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 2, 2016.

SBROGLIA, R. M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SBROGLIA, R. M.; HIGASHI, R. A. R. Mapeamento geotécnico preliminar de áreas suscetíveis a movimentos de massa na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 16, p. 9300-9307, 2013.

SCABURRI JÚNIOR, R. **Mapeamento geotécnico preliminar e correlação entre propriedades mecânicas do solo em áreas suscetíveis a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros - SC**. 2010. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SEARLE, J. R. *Mind, Language and Society*. New York: Basic Books, 1998.

SILVA, A. D.; PINHEIRO, E. S. A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 2, p. 297-312, 2010.

SILVA, D. D. **Sistema de informação georreferenciada na análise geotécnica da área urbana de Novo Hamburgo/RS**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2002.

SILVA, E. C. *et al.* Mapeamento Geotécnico da Folha Córrego das Moças, no Município de Uberlândia-MG. **Caminhos de Geografia-Revista Online**, v. 1, n. 2, p. 1-24, 2000.

SILVA, R. F. *et al.* Aplicação metodológica para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos industriais cerâmicos. Estudo de caso: Porto Ferreira-SP. **Geociências (São Paulo)**, v. 24, n. 3, p. 305-317, 2007.

SILVEIRA, L. R. **Avaliação de vulnerabilidades por dois diferentes métodos e mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais rasos**. 2017. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SOARES, W. C. **Banco de dados geológico - Geotécnicos com base em sondagem à percussão e uso de SIG: Análise espacial da profundidade do lençol freático e do N_{SPT} para obras de Fundação em João Pessoa-PB**. 2011. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SOUSA, P. N. R. **Realização de especialização do subsolo para implantação de um viaduto em Brasília com a utilização de sondagens por meio do Software Rockworks 16**. 2019. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.

SOUZA, G. D. B. **Caracterização de unidades geotécnicas com ênfase na capacidade de**

suporte do subsolo no município de Florianópolis/SC com base em um banco de dados de sondagem à percussão (SPT). 2016. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, U. D. V.; ALFAYA, F. A. V. S.; KUX, H. J. H. Contribuição das novas bandas espectrais do satélite Worldview II para a classificação de tipos vegetais em habitats costeiros: resultados iniciais. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 1, 2011.

STALIN, V. K.; ARUN MURUGAN, R. B. Geographic information system for the development of soil suitability map in south Chennai, India. **Arabian Journal of Geosciences**, Volume 8, Issue 3, pp 1415-1437, 2015.

SUTTON, R. I.; STAW, B. M. O que não é teoria. **Revista de Administração de Empresas**, v. 43, n. 3, 2003.

TABALIPA, L. K. **Aplicação do modelo SHALSTAB para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais: estudo de caso em Jaraguá do Sul/SC.** 2019. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

TEGTMEIER, W. *et al.* 3D-GEM: Geo-technical extension towards an integrated 3D information model for infrastructural development. **Computers & geosciences**, v. 64, p. 126-135, 2014.

TEIXEIRA, A. A. *et al.* Topologia Hídrica: uma proposta para gestão de recursos hídricos utilizando sistema de informações geográficas. *In: XIII SBSR-SC, Annals*, v. 1., INPE. 2007. p. 3597-3605.

TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra.** 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 2009.

TEOREY, T. *et al.* **Projeto e Modelagem de Bancos de Dados.** 2. ed. Brasil: Elsevier, 2014. 328 p.

THIESEN, S. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC.** 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de topografia.** Bookman, 2014.

VALDEVINO, D. S.; DE SÁ, L. A. C. M. Integração Dados Espaciais para a geração das Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do Litoral de Pernambuco. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, 2013.

VALENTE, A. L. S. *et al.* Estimativa da suscetibilidade potencial à erosão laminar devido a fatores naturais: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Porto Alegre (RS). **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, [s. l], v. 1, n. 2, p. 85-92, maio 2001.

VALENTE, A. L. S. Proposta metodológica de um banco de dados geotécnicos para uso em

Sistema de Informações Geográfica (SIG) e sua aplicação no município de Porto Alegre, R. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Porto Alegre, n. 1, p. 87-95, nov. 2000.

VALERIANO, M. M. Mapeamento da declividade em microbacias com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 303-310, 13 maio 2003.

VENTURA, D. M. L. **Mapeamento da suscetibilidade à erosão dos solos residuais do bairro Ratoles e Vargem Pequena**. 2017. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

VIEIRA, T. G. C. *et al.* Estruturação, modelagem e implantação do banco de dados geográfico para cafeicultura do sul de minas, utilizando o modelo de dados OMT-G (Object Modelling Technique-Geographic). 2007.

VILLELA, M. L. B.; OLIVEIRA, A. P.; BRAGA, J. L. Modelagem ontológica no apoio à modelagem conceitual. **Simpósio brasileiro de engenharia de software**, v. 18, 2004.

WOLSKI, M. S. **Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistema de informações geográficas: uma aplicação à região do Médio Uruguai (RS)**. 1997. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XAVIER, A. V. **Caracterização Geotécnica do Perímetro Urbano do Município De Chapecó-SC Através do Geoprocessamento de Sondagens SPT em Ambiente SIG**. 2020. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

XAVIER, A. V.; AGUIAR, C. R.; MENEGOTTO, M.L. Mapeamento e Análise da Resistência do Solo no Município De Chapecó-SC. *In*: XII SIMPÓSIO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 12., 2019, Joinville. **Anais...** Joinville: 2019.

XAVIER, S. C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidade costeiras estudo de caso para Pelotas (RS)**. 2010. 261 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

XAVIER, S. C.; BRESSANI, L. A. Progressive Mapping and Urban Growth: the construction of urbanization suitability map of Pelotas-southern Brazil. **Soils And Rocks**, v. 42, n. 2, p. 99-116, 31 ago. 2019.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geostatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2013.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. 1981. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. 2004.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de geologia de engenharia. **Geologia de Engenharia**. São Paulo, ABGE, 1998.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). 369p. São Carlos, 1993.