

ESQUEMAS CONCEITUAIS E DICIONARIZAÇÃO DE DADOS RELATIVOS AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DE APTIDÃO ÀS FUNDAÇÕES

Conceptual Schemes and Dictionary of Data Related to the Geotechnical Mapping of Foundations' Suitability

André Felipe Bozio

**Universidade Federal de Santa Catarina
Prefeitura Municipal de Brusque**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial
Departamento de Planejamento Urbano - IBPLAN
andrefbozio@gmail.com

Vivian da Silva Celestino Reginato

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial
vivian.celestino@ufsc.br

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial
rrhigashi@gmail.com

Resumo:

Como lacuna de pesquisa, a não padronização na construção de banco de dados relativos à geotecnia, especificamente aos dados que subsidiem os mapas de aptidão às fundações, resulta na impossibilidade de integração entre estes produtos cartográficos. Ademais, verifica-se uma considerável quantidade de dados do meio físico em âmbito geológico-geotécnico que necessitam de uma correta informatização para que o conhecimento gerado acerca destes dados preliminares seja constituído. Dado isto, este trabalho objetiva 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. Metodologicamente, o trabalho utilizou os preceitos da OMT-G para elaborar seu modelo conceitual, estabelecendo classes georreferenciadas e convencionais, discriminando os atributos necessários contidos em cada uma delas e os dicionarizando por meio das especificações de suas características e domínios. Estabeleceram-se classes, padrões de relacionamento e transformações de forma a produzir os resultados, ou seja, sete classes primárias e oito diagramas de classe e transformações. Ao analisar os resultados, foi possível perceber que o mapeamento geotécnico poderia ser analisado sob outras óticas, não apenas nas fases físicas de implementação dos dados, mas principalmente, nas representações e características que cada um deles pudesse ter. A modelagem conceitual realizada foi considerada de aplicação universal pois permite que novos documentos e mapeamentos se integrem e se adequem aos padrões estabelecidos, independente de *software* ou *hardware*.

Palavras-chave: Mapeamento Geotécnico; Investigações Geotécnicas; Modelagem Conceitual de Dados; OMT-G.

Abstract

As a research gap, the lack of standardization in the construction of a database related to geotechnics, specifically to the data that support the maps of suitability for foundations, results in the impossibility of integrating these

cartographic products. Furthermore, there is a considerable amount of data from the physical environment in the geological-geotechnical scope that need a correct computerization so that the knowledge generated about these preliminary data is constituted. Given this, this work aims to conceptually model geotechnical data, providing a path for structuring and making them available, in order to support the production of maps of suitability for foundations. Methodologically, the work used the OMT-G precepts to elaborate its conceptual model, establishing georeferenced and conventional classes, discriminating the necessary attributes contained in each one of them and putting them into a dictionary through the specifications of their characteristics and domains. Classes, relationship patterns and transformations were established in order to produce the results, that is, seven primary classes and eight class diagrams and transformations. When analyzing the results, it was possible to perceive that the geotechnical mapping could be analyzed from other perspectives, not only in the physical phases of data implementation, but mainly in the representations and characteristics that each one of them could have. 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 software or hardware.

Keywords: Geotechnical Mapping; Geotechnical Investigations; Conceptual Data Modeling; OMT-G.

1 INTRODUÇÃO

Por se tratar de um trabalho cujo contexto é a gestão territorial, o escopo desta pesquisa é a gestão de dados relativos ao mapeamento geotécnico de aptidão às fundações. Neste sentido, para trabalhos que integram a tríade entre dados, informações e conhecimento, a gestão do fluxo de trabalho relacionado ao objetivo proposto adiante, precisa ser considerada.

Por este ângulo, devido à grande quantidade de dados oriundos das transformações territoriais, especificamente no contexto geológico-geotécnico, a gestão desta tríade entre dados, informações e conhecimento é caracterizada pelas transformações. Portanto, a partir desta ascendente dinâmica espacial das características físicas do território, surge a necessidade de cartografar o meio físico em seu contexto geotécnico (XAVIER e BRESSANI, 2019).

Podendo ser caracterizada como uma das finalidades do mapeamento geotécnico, a aptidão às fundações permite compreender o meio físico sob a ótica das investigações geotécnicas, principalmente relacionado às sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), e, como estes dados podem auxiliar em tomadas de decisão nas escolhas de futuros projetos de fundações.

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 (RIBEIRA, SILVA e BARROSO, 2016; AMORIM *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

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, e, razoavelmente, pode-se apontar a necessidade de uma estruturação de banco de dados, haja vista que os trabalhos de cartografia geotécnica dependem diretamente deles por sua alta quantidade e variabilidade de dados.

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?

Como base no exposto, este estudo se baseou em como as técnicas de modelagem de dados, especificamente em seu universo conceitual, podem auxiliar nesta organização, surgindo 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 destes mapas.

O objetivo geral deste trabalho 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.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas foram divididas em 3 fases: definição do recorte observacional, produção de classes, atributos e domínios dos atributos e produção dos diagramas de classes e transformação.

2.1 Definição do recorte observacional

De forma a materializar esta observação, no sentido de diagnosticar o cenário que cerva a temática central da pesquisa, foram definidas as metodologias de mapeamento geotécnico de Davison Dias (1995). Referente às cartas de aptidão às fundações a metodologia desenvolvida por Santos, Thiesen e Higashi (2018) foram balizadores para definição do recorte observacional, bem como para a definição das classes necessárias para compor o BDG. Ainda, foram realizadas pesquisas em bibliografias que objetivaram construir estes bancos de dados para suportar esta cartografia.

Percebeu-se, corroborando com a lacuna desta pesquisa, que para cada trabalho descrito, um novo banco de dados era criado e possuía uma estruturação distinta, principalmente relacionado às sondagens SPT.

Por ser os mais utilizados como escolha para os tipos de fundações, o ensaio SPT foi ditado como principal fonte de dados para elaboração dos relacionamentos espaciais e transformações de análises espaciais apresentados pelos esquemas conceituais.

Dito isto, pode-se, por meio da análise bibliográfica perceber que este tipo de cartografia resultava em um total de sete principais mapas: 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.

2.2 Produção de classes, atributos e domínios dos atributos

Esta etapa contemplou a verificação preliminar dos elementos do mundo real que necessitavam compor o BDG. As classes foram definidas com base nas primitivas do OMT-G (BORGES; DAVIS JR.; LAENDER, 2005) e estabeleceram-se em três grupos de dados (contínuos, discretos e não-espaciais). Ainda, a distinção entre classes que fossem convencionais ou georreferenciadas permitirão que as aplicações facilitem a integração e

reutilização de dados.

2.3 Produção dos diagramas de classes e transformações

Dado isto, utilizou-se o *software* Visio com o *stencil* OMT-G para elaboração dos esquemas conceituais. Definiram-se os relacionamentos espaciais e topológicos, seguindo as propostas do modelo OMT-G com suas respectivas cardinalidades e operações espaciais necessárias.

Optou-se por reunir os diagramas de classe e de transformação em um único esquema, visto que as metodologias de mapeamento geotécnico analisadas no recorte observacional se constituem de transformações e de classes dinâmicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados foram produzidas uma classe convencional (PROF_Xn) e seis classes georreferenciadas: PEDOLOGIA e GEOLOGIA com primitiva subdivisão planar; MDT e HIDROGRAFIA com primitiva tesselação; SONDAGEM_SPT e FUNDACAO_EXISTENTE com primitiva ponto.

A classe SONDAGEM_SPT se refere ao ponto geográfico de investigação do subsolo pelo método *Standard Penetration Test*, a classe FUNDACAO_EXISTENTE se refere ao tipo de fundação e a elementos básicos para escolha e projeto destas estruturas. A classe PROF_Xn se refere à tabela convencional relacionada à sondagem SPT, por metro, com atributos relativos a cada camada.

Também foram produzidos seis esquemas conceituais com diferentes diagramas (superfície do impenetrável, superfície do lençol freático, tensão admissível, orientação para o tipo de fundação, N_{SPT} e mapas de tipos de solo) a partir das classes definidas, seus diferentes relacionamentos e operações derivadas de análises.

Como a classe SONDAGEM_SPT é a classe, cujos objetos fornecem os subsídios principais para a construção das análises finais, ou seja, os mapas de aptidão às fundações, todos os diagramas partiram dela, pois ela fornece os atributos relativos aos tipos de solo, posição do nível do lençol freático, índices N_{SPT} e o impenetrável à percussão. Essas informações quando especializadas permitem representar o subsolo através de interpoladores geoestatísticos.

Como resultados também foram produzidos três dicionários de dados relativos as classes SONDAGEM_SPT, FUNDACAO_EXISTENTE e PROF_Xn, tendo em vista a necessidade de descrição semântica destas.

A classe PROF_Xn possui como atributos NSPT_X e TIPO_SOLO. A classe FUNDACAO_EXISTENTE possui como atributos USO, SUPERESTRUTURA, TIPO_FUNDACAO, EXIST_SUBSOLO, USO.

O atributo TIPO_SOLO, por exemplo, teve definido como domínios: argila, silte, areia, pedregulho, rocha. As demais classes e atributos não foram dicionarizados por não apresentarem atributos e domínios com número e diversidade suficiente que justificassem a modelagem. O Quadro 1 apresenta o dicionário de dados relativo aos atributos da classe SONDAGEM_SPT como forma de exemplificação.

Quadro 1 - 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	Ex: 1
COORD_E	Float	9/2	NO	Coordenada leste do furo da sondagem em projeção plana	Automático	Ex: 679979,00
COORD_N	Float	10/2	NO	Coordenada norte do furo da sondagem em projeção plana	Automático	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
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

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Ressalta-se que a relevância da classe apresentada neste trabalho, “SONDAGEM_SPT”, se situa em caracterizar os objetos de forma previamente representativa, modelada, organizada e permite 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 conceitualmente organizadas. Neste sentido o diagrama de classes e transformação, a partir da esquematização de seus relacionamentos, deve trazer luz e visibilidade de como o banco de dados relativos a este objeto deverá se comportar.

O Quadro 2 apresenta o dicionário de dados relativo à classe PROF_Xn.

Quadro 2 - 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 (NSPT) 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	A ser selecionado*	0 1 2

				orientar futuras análises desejadas		3
						4

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No Quadro 3 são apresentados os atributos definidos para a classe FUNDACAO_EXISTENTE.

Quadro 3 - 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						
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	Industrial
						Madeira
						Concreto
						Pré-fabricado
						Metálica
TIPO_FUNDAÇÃO	Text	30	NO	Tipologia da fundação executada em uma obra existente*	A ser selecionado	Mista
						Outra
						Superficial - Bloco
						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 - Caixaão
						Mista - Estaca T
						Mista - Estapata
						Mista - Radier Estaqueado
EXIST_SUBSOLO	Text	3	YES	Relativo à existência ou não de subsolo na estrutura	A ser selecionado	Sim
						Não

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Foram elaborados ainda, esquemas conceituais para produção do mapa geotécnico preliminar (Figura 1), diagrama de relacionamento entre as classes SONDAGEM_SPT e PROF_Xn (Figura 2), para produção da superfície freática (Figura 3) e superfície do impenetrável (Figura 4).

Figura 1 – Esquema conceitual para produção do mapa geotécnico preliminar

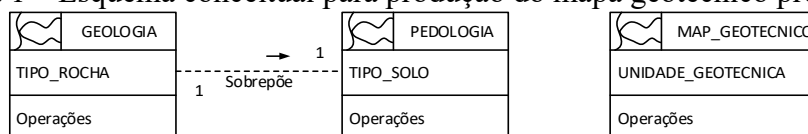


Figura 2 – Relacionamento entre a classe “SONDAGEM_SPT” e “PROF_Xn”

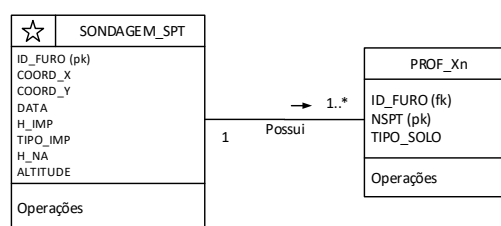


Figura 3 – Esquema conceitual para produção da superfície freática

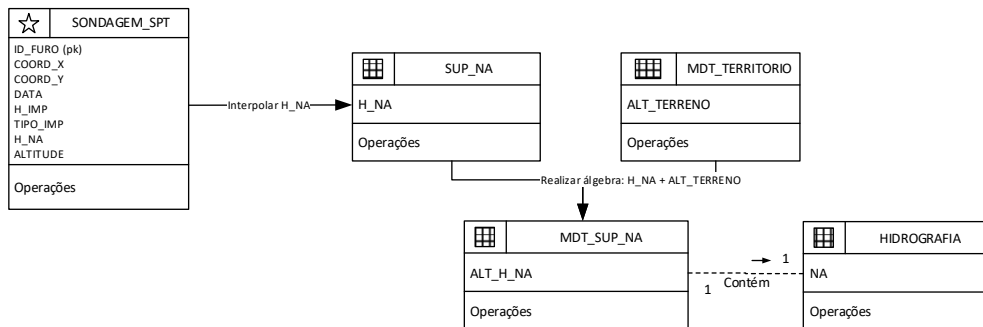


Figura 4 – Esquema conceitual para produção da superfície impenetrável

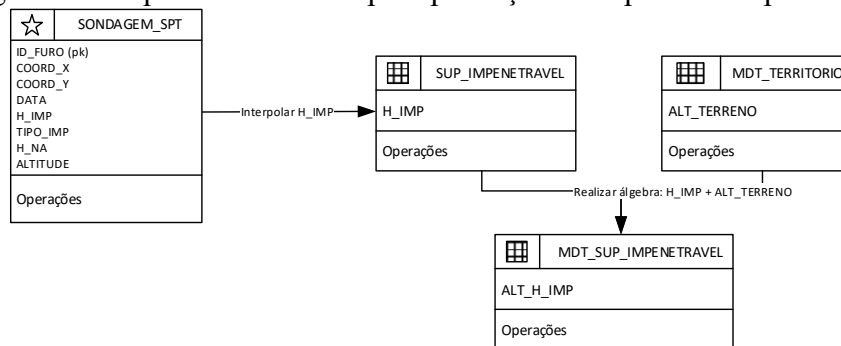
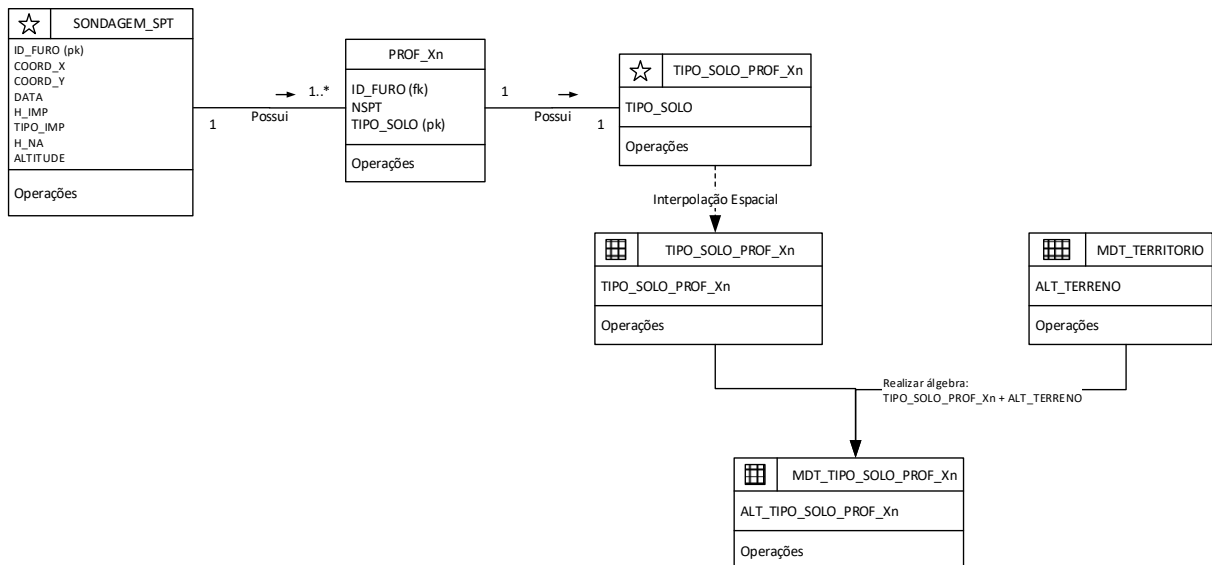


Figura 5 – Esquema conceitual para produção do mapa de tipos de solo



A Figura 6 apresenta o diagrama de classes e transformação para produção de orientação às fundações superficiais, a Figura 7 apresenta o esquema conceitual para produção

dos mapas de tensões admissíveis e a Figura 8 apresenta o esquema conceitual para produção das cartas de profundidade de estas

Figura 6 – Esquema conceitual para produção do mapa geotécnico preliminar

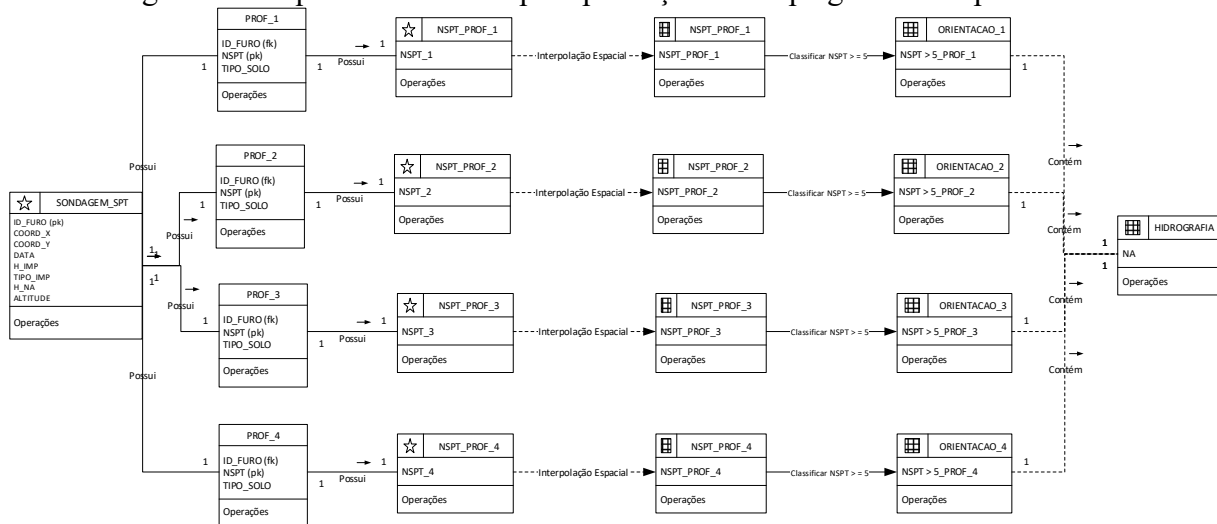


Figura 7 – Esquema conceitual para produção do mapa geotécnico preliminar

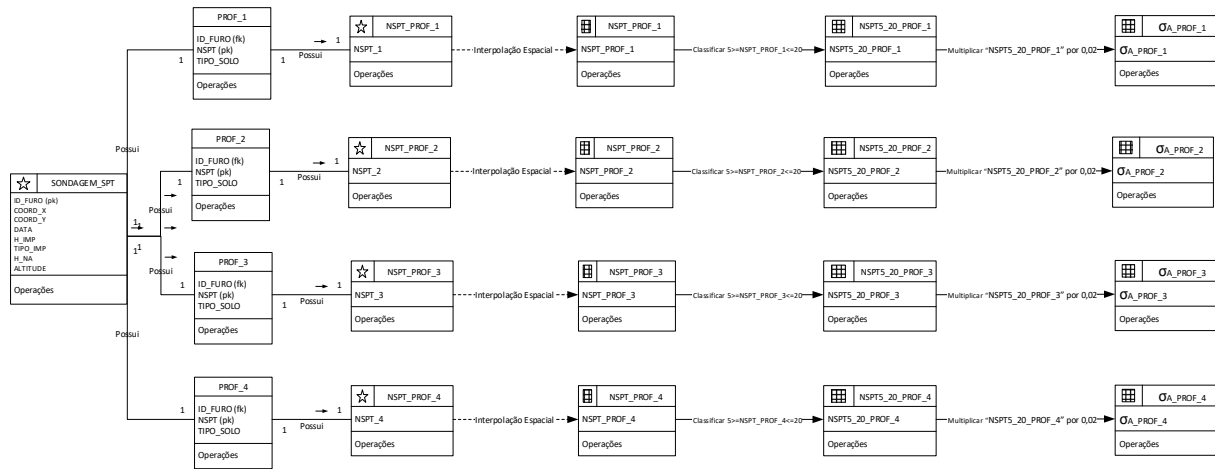
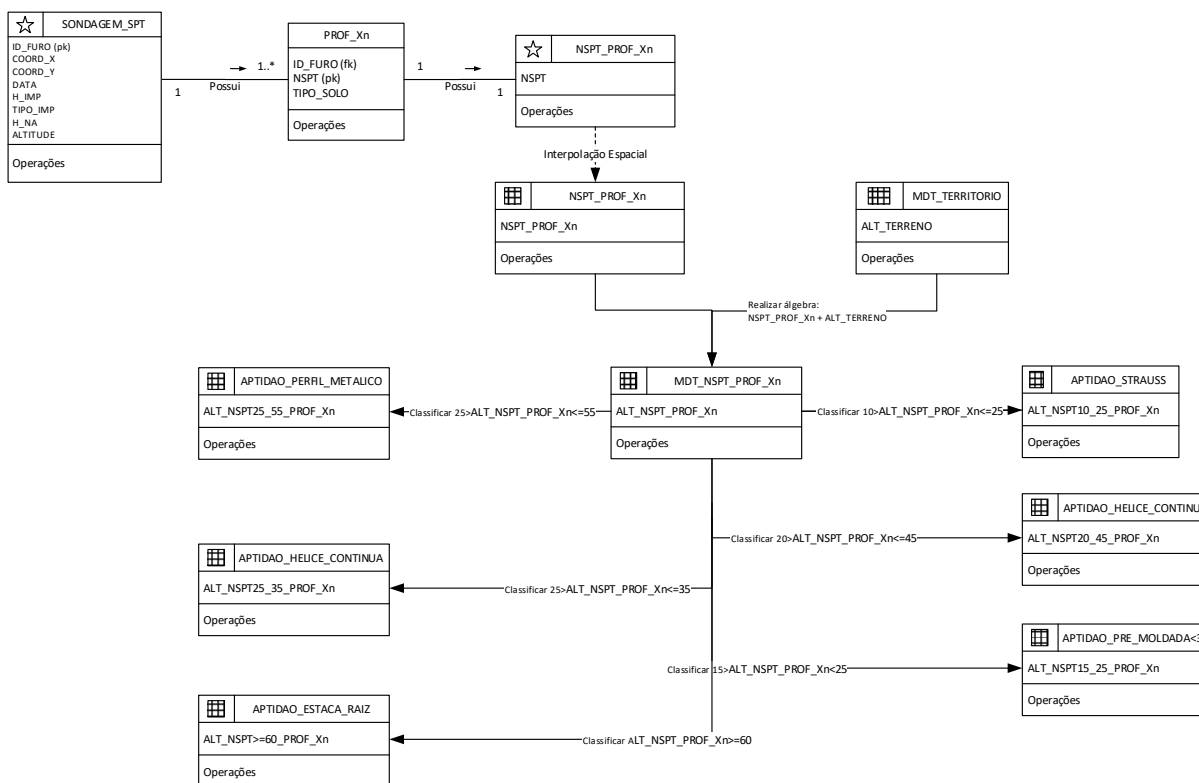


Figura 8 – Esquema conceitual para produção do mapa geotécnico preliminar



4 CONCLUSÕES

Conclui-se que a pesquisa alcançou seus objetivos pois revelou aspectos relevantes à literatura de mapeamento geotécnico sobre a organização e padronização necessária para estruturar um banco de dados que dê suporte a elaboração dos mapas de aptidão às fundações.

Em síntese, teve-se a representação mais genérica de cada elemento necessário para a elaboração destes tipos de carta. 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.

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 importante dicionário apresentado diz respeito às fundações existentes, pois estes produtos são caracterizados por trazerem a forma com que os dados podem ser armazenados dentro de um sistema/aplicação.

Ressalta-se 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*. Assim, de forma a auxiliar a construção e a disposição desta quantidade de dados, principalmente em tabelas que variam com sua profundidade, o implementador possuirá respaldo técnico para sua implementação.

Referências

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.