



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
GABRIEL KIRCHNER DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ESTUDOS
GEOTÉCNICOS APLICADOS A FUNDAÇÃO

Tubarão
2021

GABRIEL KIRCHNER DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ESTUDOS
GEOTÉCNICOS APLICADOS A FUNDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Ismael Medeiros

Tubarão

2021

GABRIEL KIRCHNER DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ESTUDOS
GEOTÉCNICOS APLICADOS A FUNDAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 26 de junho de 2021.

Professor e orientador Ismael Medeiros
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Gercino Preve
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Walter Olivier Alves
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico esse TCC a todos que me auxiliaram durante esses cinco anos de curso e durante a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por me apoiar durante toda essa jornada e sempre estar comigo nos momentos de dificuldade e de alegria.

Agradeço a minha namorada por sempre me apoiar tanto na vida pessoal quanto na acadêmica, inclusive durante a confecção desse trabalho.

Agradeço aos meus colegas de turma pela parceria durante esses cinco anos de curso e desejo a todos sucesso em suas carreiras.

Agradeço ao Prof. Ismael Medeiros por ter acreditado nesse projeto e me motivado para a confecção do mesmo.

Agradeço também aos professores de Engenharia Civil da Unisul que foram muito importantes para a minha formação e aos conselhos que vão me ajudar muito durante a minha carreira.

Agradeço ainda a todos que de alguma forma me auxiliaram na elaboração desse trabalho de conclusão de curso.

“Não deixe o barulho da opinião dos outros abafar sua voz interior. É mais importante, tenha a coragem de seguir seu coração e intuição. Eles de alguma forma já sabem o que você realmente quer se tornar.” (Steve Jobs).

RESUMO

Toda obra que foi ou será realizada, tem como um de seus principais fundamentos a parte geotécnica e suas características. Pois através desta é que todas as análises serão feitas, com relação a viabilidade e a definição dos métodos de fundações que serão utilizadas. Pode-se dizer que sem esse fator, onde muitas vezes não é dada a devida importância, a estabilidade não pode ser garantida na maioria das estruturas. Analisando aspectos técnicos e a viabilidade atual de mercado, o tempo é primordial. Quando se diz respeito a pessoa física ou órgãos públicos, todos acabam prezando pela agilidade e a qualidade durante esse processo.

Para otimizar este processo de identificação de dados geotécnicos e facilitar análises SPT, este trabalho visa desenvolver um software, programado em linhas de código VBA no Excel, de auxílio e armazenagem de dados para laudos técnicos de sondagem e informações gráficas do material previamente analisado. O objetivo final presente trabalho será um programa de fácil acesso e utilização, onde através de dados básicos as informações se relacionam a dados similares, para que se possa apresentar condições de solo de áreas próximas, em casos mais específicos podendo apresentar uma localização exata e até mesmo dispensar a necessidade de novos laudos de sondagem. Propõe-se com esse software, desenvolver uma solução eficiente para garantir a redução da inviabilidade de projetos em geral.

Palavras-chave: Geotecnia. Solo. Análise. Banco de dados.

ABSTRACT

Every construction that has been or will be done, has the Geotechnical issue and its characteristics as one of its main foundations, because all the analyses will be done through those, related to viability and the definition of uses of different foundations. Can be said that without this factor, that many times doesn't get recognition, the stability can't be reached in most structures. Analyzing technical aspects and Market viability, time is the essence, when it's related to physical person or public organs, everyone ends up prioritizing for agility and quality during this process.

Optimizing this process of identification Geotechnical data and make SPT analysis easier, this Project tries to develop a software, with VBA line codes programming in excel, to assist and store data for SPT technical reports and graphical information on the material previously analyzed. The final objective of this Project will be a software for easy access and use, where from basic data can be presented similar data of near areas, or in the best-case exact location and dismiss the need of a new SPT test. Proposing an efficient solution to guarantee that Project unfeasibility problems will be reduced.

Keywords: Geotechnology. Soil. Analysis. Data base.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de compressão (SILVA, 2001).....	22
Figura 2 - Estrutura hierárquica básica MARINS et al. (2009).....	23
Figura 3 - Escala Numérica de Saaty, MARINS et al. (2009)	24
Figura 4 - Fluxograma de métodos.....	25
Figura 5 - Fluxograma de métodos.....	26
Figura 6 - Esquema de Rotina de funcionamento (Autor, 2021)	29
Figura 7 - Tela Inicial (Autor, 2021)	32
Figura 8 - Seleção de dados (Autor, 2021).....	32
Figura 9 - Análise de capacidade (Autor, 2021)	33
Figura 10 - Apresentação de tela de uso geral (Autor, 2021).....	34
Figura 11 - Esquema de proposta inicial (Autor, 2021)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de Laudo de Sondagem (Autor, 2021).....	28
Tabela 2 - Tabela de compacidade e resistência de uma análise de solo Fonte: ABNT NBR6484/2001.....	30
Tabela 3 - Tabela de dados, resistência (Autor, 2021).....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

SPT- Standard Penetration Test

I.O.T - Internet Of Things

NBR - Norma Técnica Brasileira

A.H.P - Analytic Hierarchy Process

VBA – Virtual Basics

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tensão limite de ruptura de Rankine	21
Equação 2 - Tensão limite de ruptura de Terzaghi	21
Equação 3	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVO	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	USO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ATIVIDADES RESPECTIVAS	17
2.2	APLICAÇÃO DO I.O.T. NOS DIFERENTES SETORES DA ENGENHARIA CIVIL	18
2.3	CONCEITOS GERAIS SOBRE MECÂNICA DOS SOLOS.....	19
2.3.1	Solos Sedimentares.....	20
2.3.2	Solos residuais.....	20
2.4	COMPORTAMENTO DOS SOLOS, CISALHAMENTO E COMPRESSIBILIDADE	20
2.5	MÉTODO A.H.P	22
2.6	ENSAIO DE SONDAÇÃO S.P.T	24
3	METODOLOGIA.....	25
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	27
4.1	FORTALECIMENTO DA PROBLEMÁTICA	27
4.2	ESTUDO DE ROTINAS E DESENVOLVIMENTO	28
4.2.1	Dados técnicos e análise	29
4.2.2	Determinação de rotinas.....	30
4.2.3	Apresentação de Telas	31
4.2.4	Vantagens de uso da Ferramenta	34
4.2.5	Implementações futuras.....	34
5	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Atualmente os processos para a inicialização de uma obra passam por várias etapas e cada uma delas é fundamental para o processo como um todo, a parte geotécnica também é incluída e está no topo dessa equação. A análise de solos de um determinado terreno, visando a obtenção de condições de uso, é extremamente necessário e em boa parte dos casos aplica-se os chamados testes de sondagem a percussão ou SPT. Conseqüentemente se torna necessário aguardar a finalização da obtenção de dados para dar prosseguimento as demais etapas. Para reduzir esse tempo de espera e otimizar tarefas, esse trabalho visa desenvolver uma ferramenta de buscas para as análises SPT que já foram desenvolvidas e que possam ser comparadas com as características de determinada geolocalização.

O desenvolvimento de um modelo computacional traz certa facilidade e comodidade para os profissionais da área, tendo em vista que essa informação é tradicionalmente obtida por métodos in loco. No entanto, nos dias de hoje é muito importante citar um termo que está ficando cada vez mais comum, a IoT. Esse termo trata-se de como facilitar o processo como um todo, reunindo os dados que se deseja ter acesso em questão de minutos. O intuito é que essa ferramenta se torne acessível através de smartphones, notebooks e tablets, para que facilite o acesso do profissional a um conteúdo que muitas vezes seriam necessários vários processos e análises para se obter.

Observa-se que a utilização de métodos empíricos são geralmente um dos únicos parâmetros para se obter informações sobre aquela dada região e nem sempre esses métodos são completamente confiáveis. Ao utilizar dados previamente estabelecidos, os métodos tradicionais podem se tornar mais efetivos e mais precisos, reduzindo assim o tempo de busca por obtenção de uma resposta e facilitando o início do projeto de construção, que muitas vezes possui prazos pré-determinados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A dificuldade em relacionar os parâmetros geotécnicos e suas correlações em obras de diferentes naturezas, resulta na maioria das vezes em decisões pautadas em elementos empíricos e/ou fundamentos distorcidos. Logo, a utilização de rotinas computacionais pode melhorar as decisões técnicas, uma vez que partem de parâmetros pré-estabelecidos permitindo assim a realização de diferentes cenários.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar uma plataforma de análise computacional, com rotina pré-programada e um banco de dados versátil, que inclua um número significativo de laudos SPT, para análise de solos e auxílio no processo de elaboração de fundações em uma determinada obra. A ferramenta deve visar permitir a realização de análises de diferentes cenários para diferentes tipos de solos, se baseado em análises pré-existentes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Montar uma base de dados geotécnica a partir de laudos de sondagem SPT;
- Elaborar matriz de correlação entre os diferentes parâmetros, a partir da aplicação de metodologias hierárquicas;
- Elaborar rotina computacional para análises de cenários de utilização geotécnica;
- Apresentar um relatório definido com dados pré-estabelecidos e de possível utilização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 USO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA ATIVIDADES RESPECTIVAS

O ensino universitário de Engenharia Civil, assim como profissionais da área, já a um certo tempo está passando por profundas e complexas modificações. Tendências de evolução tecnológica são constantemente implementadas, seja no próprio mercado de trabalho ou no aprendizado dentro das universidades. Tais tendências baseiam-se em uma gama de produtos e softwares que objetivam agilizar e precisar tarefas ligadas à área de Engenharia Civil, tais como plataformas de cálculo, desenho, elaboração de orçamentos e organização de planejamentos. (MODLER, 2005)

É necessário que essa tendência da tecnologia aplicada à engenharia civil esteja presente durante o processo de graduação, a fim de preparar o discente para a realidade do mercado de trabalho. Pode-se conseguir essa prerrogativa, por exemplo, com a utilização de softwares com enfoque educativo e também aplicativos profissionais. (HILÁRIO E JUNIOR, 2019)

Segundo Batista et al. (2008) as rotinas computacionais seguem um passo a passo para serem desenvolvidos, principalmente para atividades da engenharia civil. Primeiramente se deve entender a importância do problema a ser resolvido, em segundo lugar, devem ser definidos os programas utilizados, além de deduzir como as análises serão feitas para desenvolver as rotinas computacionais. Em seguida, a ideia é fragmentar os processos, a fim de reduzir os problemas em problemas menores, em uma espécie de fracionamento, de forma que todos os processos se liguem entre si, em um passo a passo simplificado. Por último vem o toque pessoal por parte do aluno para que se possa dar início aos testes do programa.

Como alguns exemplos há Mendes et al apud HILÁRIO JR. (2015), que desenvolveram uma ferramenta computacional intitulada PET Structure que integra conhecimentos de estática, análise estrutural e concreto armado. A função do aplicativo consiste no dimensionamento de vigas com diferentes tipos de apoio e na apresentação dos diagramas de esforços, domínios de deformação bem como detalhamento das armaduras. Para os autores da pesquisa, o utilitário apresenta-se tanto como uma ferramenta profissional quanto para fins educacionais. (HILÁRIO E JUNIOR, 2019)

Ainda os próprios autores Hilário e Junior (2019), desenvolveram, através do trabalho proposto, um software para dimensionar a flexão de lajes maciças, a partir de uma linguagem de programação chamada Virtual Basics, chegando assim ao programa final

conhecido como Calc Lajes. O objetivo principal dessa ferramenta é o cálculo de momentos fletores atuantes em lajes maciças, através dos coeficientes de Bares, e a especificação da armadura de flexão.

2.2 APLICAÇÃO DO I.O.T. NOS DIFERENTES SETORES DA ENGENHARIA CIVIL

Segundo Junior et al. (2019) a IoT (Internet Of Things), trata-se de vários equipamentos (máquinas), que interagem entre si tendo como o objetivo a geração de informações, como relatórios, monitoramento, e compartilhar informações entre máquina-máquina ou humano-máquina. O objetivo principal é fazer com que os processos se tornem mais simples, abrangentes e efetivos, em diversos setores da economia.

Junior et al. (2019) destacam ainda que a internet pode proporcionar grande potencial de inovação nas empresas do setor e sugeriu que sua aplicação pode começar em atividades bastante simples, tais como no compartilhamento de projetos, programação de reuniões e envio de comunicados. Entretanto, aplicações mais refinadas são vislumbradas pela IoT, que permite transformações nos diversos procedimentos gerenciais e de controle de processos, atividades impactantes na engenharia civil.

De acordo com INBEC (2019), alguns exemplos que podemos citar de utilização de IoT na engenharia civil seriam, wearables para EPIs, beacons de localização, monitoramento preciso de máquinas, Smart Grid da planta industrial, impressoras 3D e betoneiras conectadas.

Deve-se considerar que o uso da IoT é muito importante para o setor da engenharia, podendo promover melhor adaptação das pessoas às cidades, possibilitando o monitoramento de problemas estruturais em edificações e seus reparos; também podem otimizar a manutenção de estruturas que sofrem desgaste com difícil percepção, como ruas com asfalto desgastado ou vias com acidentes frequentes devido má iluminação ou sinalização, por meio do uso de sistemas urbanos de construção integrados. Todas essas inovações tecnológicas também podem permitir o melhor gerenciamento de obras. Adicionalmente, facilitam o gerenciamento do tempo e possibilitam o desenvolvimento de atividades estratégicas, de relacionamento com clientes e desenvolvimento de melhores métodos e processos para a construção. (JÚNIOR et al., 2019).

Como cita Vargas (1990), até a década de 20 os problemas de engenharia relacionados com o solo eram resolvidos por processos técnicos, envolvendo apenas

um mínimo de conhecimento científico. Ou seja, utilizava-se de técnicas construídas que eventualmente apareciam em manuais ou tratados de profissão, conhecimento que era adquirido através de longos anos no ofício, ou transmitidos de geração em geração. Desenvolvendo-se ao longo dos anos, por volta de 1936 devido a necessidade de sistematização, iniciou-se como prática a utilização de teorias, processos e ensaios da mecânica dos solos, a fim de resolver estes problemas de forma mais rápida e eficaz. Esse sistema então vem se desenvolvendo cada vez mais, o mercado é crescente e a utilização de métodos para redução do tempo de processo são cada vez mais necessários.

2.3 CONCEITOS GERAIS SOBRE MECÂNICA DOS SOLOS

Os solos são misturas complexas de materiais inorgânicos e resíduos orgânicos parcialmente decompostos. Para o homem em geral, a formação do solo é um dos mais importantes produtos do intemperismo. Os solos diferem grandemente de área para área, não só em quantidade (espessura de camada), mais também qualitativamente. (ASATO, 2016)

A ABNT (NBR 6502) define solo como “Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”, ou simplesmente, produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos. A ação contínua do intemperismo tende a desintegrar e decompor as rochas, dando origem ao solo. Na maioria dos casos, as construções de engenharia são assentes sobre os solos e, muitas vezes, fogem ao caso as construções de túneis, barragens ou grandes pontes que exijam fundações em rocha firme.

Conforme afirma Fernandes (2016), grande parte da superfície da Terra, seja nas áreas emersas ou nas vastas regiões submersas, está coberta por solos ou maciços terrosos. Nas áreas emersas, a espessura da camada de solos sobre o substrato rochoso é particularmente importante nas zonas geologicamente mais recentes, como no litoral dos continentes e junto aos vales formados pelos grandes rios. Como é precisamente nesse local que tendem a se concentrar as populações e as áreas urbanas mais importantes, é nessas regiões, sobre maciços terrosos, que se estão implantadas a grande maioria das estruturas de Engenharia Civil. Interessa lembrar que os maciços terrosos, quanto ao seu modo de formação ou origem na Natureza, podem ser classificados em dois grandes grupos, cada um incluindo solos com propriedades físicas e mecânicas muito diversas:

- os solos sedimentares;

- os solos residuais.

2.3.1 Solos Sedimentares

Como analisa Wesley (1990), solos sedimentares são formados por um processo de erosão e transporte seguido de deposição e consolidação sob seu próprio peso. Além disso, ele pode sofrer alterações adicionais após a deposição, devido a processos como consolidação secundária, lixiviação e efeitos tixotrópicos (Bjerrum apud Wesley 1967). Solos sedimentares também podem estar sujeitos ao desenvolvimento de ligações inter partículas, bem como a outros efeitos pós-deposicionais (Bjerrum apud Wesley 1967). Assim, a tendência normalmente será maior resistência com o tempo conforme as ligações se desenvolvem e o endurecimento ocorre.

2.3.2 Solos residuais

Um solo residual é um material semelhante ao solo derivado do intemperismo, e decomposição in loco de rocha ou fragmentos de rocha que não foram transportados de seu local de origem. (BLIGHT; LEONG, 2012)

Ainda Segundo Blight e Leong (2012), Solos residuais podem ter características distintas daquelas dos solos sedimentares. Por exemplo, o conceito convencional de grão do solo, ou tamanho de partícula não se aplica a muitos solos residuais. As partículas de solo residual geralmente consistem em agregados de partículas, ou cristais de matéria mineral que se quebram e se tornam progressivamente mais finos, se o solo for manipulado ou compactado.

2.4 COMPORTAMENTO DOS SOLOS, CISALHAMENTO E COMPRESSIBILIDADE

Segundo IORI (2011), um dos efeitos que podemos ver nos solos é o fator cisalhamento, que é definido como uma ruptura caracterizada por deslocamentos relativos entre partículas e a resistência dos solos a essa ruptura é chamada de RC. Portanto, em solos nos quais as tensões cisalhantes superam a RC ocorre a ruptura. A erosão, por exemplo, é um

problema de RC, que é função da coesão do solo na superfície e do ângulo de atrito interno, sendo que a coesão é alterada durante a infiltração da água da chuva. Esta coesão depende do estado de tensões e da umidade no início da erosão.

Segundo Marangon (2018), quanto ao cisalhamento e aplicação de tensões sobre um solo, esse é um fenômeno para se ter atenção tendo em vista que isso pode acabar causando a sua ruptura, e por esse motivo adota-se um coeficiente fator de segurança, para se determinar o quão “admissível” não só a ruptura como também as deformações excessivas daquele tipo de solo é. A determinação desta capacidade de carga pode ser feita tanto teoricamente, empregando fórmulas teóricas ou semi-empíricas existentes ou experimentalmente, através da execução de provas de carga. São apresentadas a teoria de Rankine e a teoria de Terzaghi para o cálculo da capacidade de carga dos solos.

Rankine utiliza-se inicialmente um solo não coesivo sob uma “fundação corrida”, utilizando-se da equação 1, deduzida abaixo.

$$p_r = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = \gamma \cdot h \cdot K_p^2$$

Equação 1 - Tensão limite de ruptura de Rankine

A teoria de Terzaghi (1943), no entanto, utiliza-se mais para fundações diretas e rasas, como pode ser analisado na equação 2, deduzida a seguir.

$$p_r = c \cdot N_c + \gamma \cdot b \cdot N_\gamma + \gamma \cdot H \cdot N_q$$

Equação 2 - Tensão limite de ruptura de Terzaghi

Outro comportamento que pode ser destacado, seria a compressibilidade do solo, como citado por Reinert (2003). A resposta do solo à aplicação de cargas é um fenômeno associado às características dos solos e das cargas aplicadas e refere-se a importantes aspectos associados à compactação dos solos. Quando submetidos a cargas, os solos tendem a aumentar sua densidade e reduzir sua porosidade e índice de vazios. O relacionamento entre o índice de vazios e o logaritmo da pressão efetiva aplicada ao solo, durante o processo de compressão, tem sido convencionalmente chamado de curva de compressão. A figura 1, abaixo, apresenta uma representação da curva de compressão.

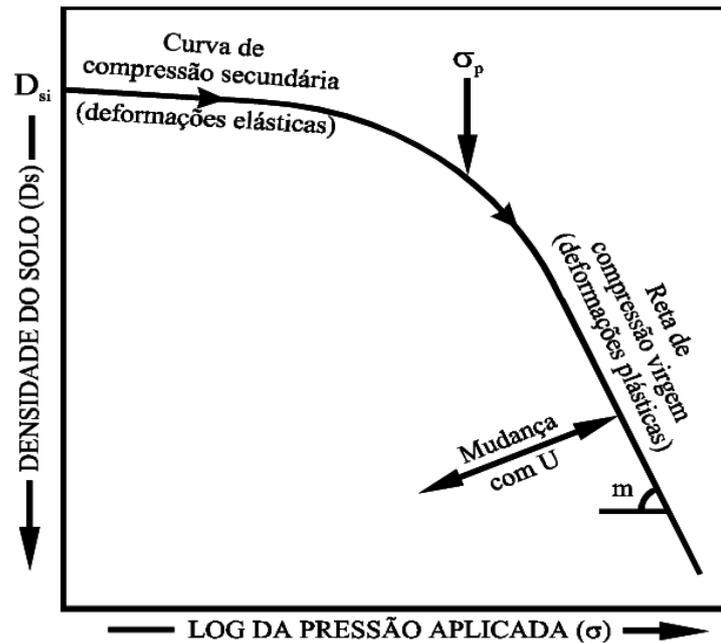


Figura 1 - Curva de compressão (SILVA, 2001)

Para Miozzo apud Terzaghi (1943), uma fundação superficial é aquela cuja largura $2B$ é igual ou maior que a profundidade D da base da fundação. Satisfeita essa condição, pode-se desprezar a resistência ao cisalhamento do solo acima do nível da base da fundação, substituindo-o por uma sobrecarga $s = g D$. Admite-se dois modos de ruptura de solos por meio de curvas típicas da relação tensão x recalque. A Figura x apresenta as curvas propostas por Terzaghi identificadas por C1 e C2. Aguiar (2015), no entanto, acredita que ela falta de métodos que pudessem encontrar expressões para os outros dois modos de ruptura, por punção e localizada, Aguiar apud TERZAGUI (2015) propôs o uso da mesma expressão da capacidade de carga da fundação para solos incompressíveis, mas com a redução dos parâmetros de resistência do solo encontrados, como mostrado na equação 3 abaixo.

$$c^* = 0,67c$$

$$\phi^* = \tan^{-1}(0,67 \tan \phi)$$

Equação 3

2.5 MÉTODO A.H.P

O método A.H.P é utilizado para auxiliar tomadas de decisões complexas com vários dados. O A.H.P é utilizado para ajudar na escolha e justificar a mesma, mostrando

dados realísticos de cada situação. O método foi desenvolvido pelo Professor Thomas Saaty em 1970, e mostra que o problema irá quantificar as variáveis em uma ordem de critérios hierárquica e por pesos (preferências). Estes critérios são comparados entre si dois a dois, mas são resultado de julgamentos humanos. (EVINCI, 2017)

De acordo com MARINS et al. (2009), há três etapas de pensamento analítico:

Construção de hierarquias: no método AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo. Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica, sendo que no primeiro nível da hierarquia corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro as alternativas. De acordo com Bornia e Wernke (2001) a ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter uma “visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema”. E a compreender de forma global, o problema e da relação de complexidade, ajudando na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios, através da comparação homogênea dos elementos.

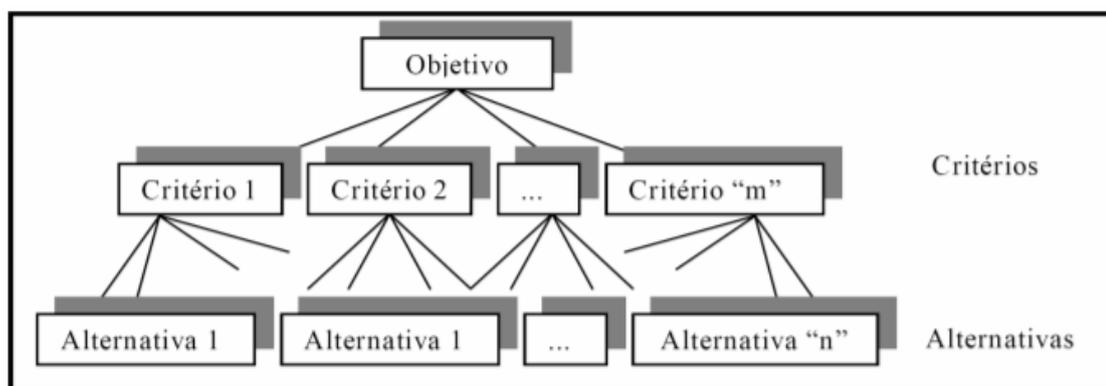


Figura 2 - Estrutura hierárquica básica MARINS et al. (2009)

Definição de prioridades: fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetos e situações observadas, comparando pares, à luz de um determinado foco, critério ou julgamentos paritários. Na figura, 4 abaixo, podemos ver uma forma de definir esse foco devido a critérios pré adotados.

Escola numérica	Escola Verbal	Explicação
1	Ambos elemento são de igual importância.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.
Incremento 0.1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Fonte: Roche (2004, p. 6)

Figura 3 - Escala Numérica de Saaty, MARINS et al. (2009)

Consistência lógica: o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (Saaty, 2000). Assim o método A.H.P. se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente.

2.6 ENSAIO DE SONDAGEM S.P.T

De acordo com as normas NBR 6484 (ABNT, 2001) e análise de Maicá et. al. (2020), sondagem a percussão (SPT) tem a finalidade de explorar por meio de perfuração as amostras do solo, medindo a resistência a penetração do mesmo. O ensaio é executado com frequência e utilizado em várias regiões do mundo. Tem como objetivo principal conhecer o material do solo que está sendo analisado a cada metro, sendo necessário retirada de amostras deformadas.

Ainda de acordo com as análises de Maicá et. al. (2020), o SPT tem início a partir do segundo metro e para isso registra-se o número de golpes que foram necessários para a cravação de 45cm do amostrador, sendo segmentado em três fases de 15cm. O teste é realizado novamente até alcançar 55cm e chegar a próxima camada. Alega-se que o registro do número de golpes ocorre a cada camada de 15 cm e a soma dos golpes é registrada aos 30cm finais de cravação do amostrador de resistência a penetração, denominado NSPT.

3 METODOLOGIA

A partir dos conceitos já mencionados para o desenvolvimento da rotina computacional, foi estabelecido que fosse seguido o fluxograma contido na figura 4 e 5, onde foram definidos o passo a passo para o resultado esperado.

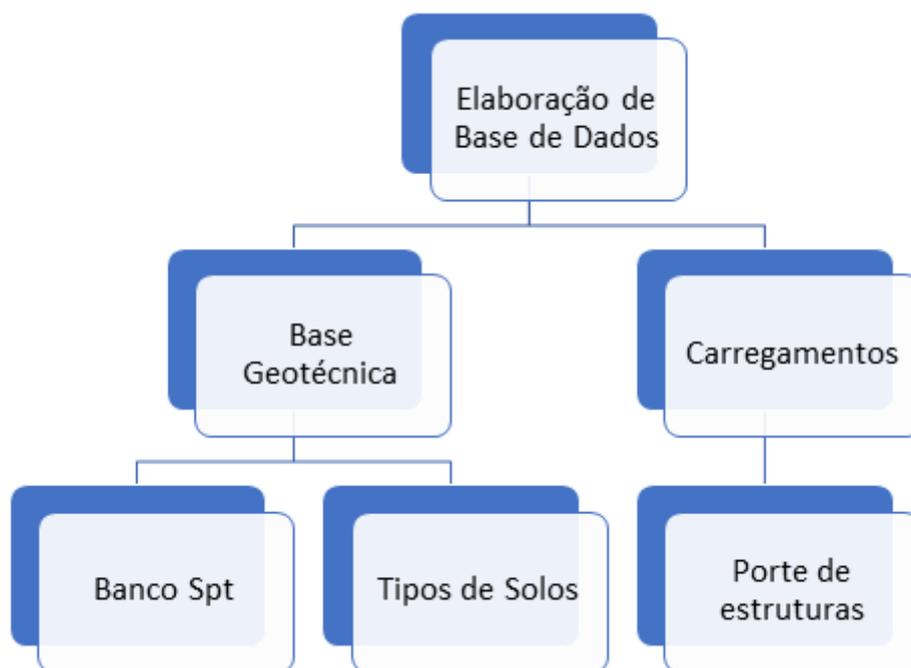


Figura 4 - Fluxograma de métodos

Através da obtenção e análise dados, a primeira etapa trata-se da elaboração de uma base de dados geotécnica, onde pode-se reunir informações sobre a quantidade de laudos SPT disponível e compilar possíveis solos que sejam apresentados no local. Assim alimentando a ferramenta com as informações que o usuário necessita a fim de realizar o tipo de estudo necessário para se dar início a sua obra. Também é desejado alimentar informações com relação a resistência atribuída ao solo, para que se possa definir com mais precisão quanto ao porte máximo a ser utilizado pelas obras que vão ser feitas no local.

Após os dados serem armazenados nesse banco de dados, a ideia final é que o usuário o preencha com as informações desejadas, e através de análises A.H.P ocorra uma correlação entre os dois tipos de obra, tal como localização, e conseqüentemente o tipo de solo analisado, para que se obtenha um resultado o mais preciso e assim se diminua o tempo necessário para realizar etapas importantes para o prosseguimento da obra. O resultado obtido, no entanto, deve sempre ser verificado tanto por parte do desenvolvedor quanto por

parte do usuário para que as informações sempre se mantenham atualizadas e precisas. Esquema que pode ser analisado um pouco melhor no fluxograma na imagem 5, a seguir.



Figura 5 - Fluxograma de métodos

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Busca-se através desse capítulo, apresentar o resultado de uma análise que visa desenvolver uma ferramenta de auxílio ao Engenheiro e a equipes de Engenharia, para facilitar na resolução de problemáticas relacionadas à identificação e análise de solos. Esses dados são necessários para as análises aplicadas de fundações, portanto o tempo gasto com novos testes SPT, poderia ser reduzido caso já houvesse estudos anteriores, e nesse caso, estando reunidos em um só lugar. Portanto busca-se com a rotina computacional desenvolvida com base no MSExcel, realizar uma apresentação de banco de dados, com laudos técnicos previamente colhidos e que apresentem resultados verídicos, frutos de estudo de outros Engenheiros ou profissionais ligados a topografia.

4.1 FORTALECIMENTO DA PROBLEMÁTICA

A análise de solo é um processo fundamental para que qualquer tipo de estrutura seja construído. Os dados de resistência do solo, esforços atuantes na estrutura e principalmente a escolha de fundação por parte do engenheiro são fatores primordiais para que se obtenha um bom resultado no final da obra. Para a escolha da fundação, por exemplo, é necessário que se leve em consideração os fatores adotados como tema desse projeto, nem sempre uma sapata é tão fácil de ser executada quanto parece. Quando se fala em baixa resistência de solo, as fundações profundas são um dos primeiros nomes que se vem a mente, então, o assunto pode até piorar, essas, como o próprio nome já diz, necessitam de análises mais aprofundadas, não se pode ter uma noção apenas observando superficialmente, nesses casos.

Por outras vezes o uso de mais de uma fundação é necessária, observa-se então que em todos os casos analisados a problemática gira em torno da compacidade e resistência, fatores que são simples de se obter através de um laudo de sondagem SPT, mas se esse laudo já existir, poderia ser simplesmente reutilizado e reavaliado.

Mesmo para o caso de novos laudos, por outro lado, é necessário reforçar que o processo de busca por materiais e o desenvolvimento necessário para que se chegue ao resultado final, que por muitas vezes é longo e árduo. Por isso o desenvolvimento de uma

ferramenta que auxilie e deixe esse processo menos exaustivo, torna-se um utensílio eficaz na corrida contra o tempo dentro do mercado de trabalho.

4.2 ESTUDO DE ROTINAS E DESENVOLVIMENTO

Considerando o estudo proposto, a fim de chegar ao resultado final esperado, foi iniciado o processo de criação de um banco de dados no intuito de subsidiar tecnicamente os parâmetros analisados. A base de dados primárias foi fornecida pelo Prof. Ismael Medeiros, e é composta por 180 laudos de sondagem em planilhas do MS Excel com informações pertinentes para um resultado de estudos primário. No entanto esse banco de dados pode e deve ser abastecido futuramente, tanto por parte do usuário quanto pelo desenvolvedor a fim de aprimorar seu uso e disponibilizar mais informações.

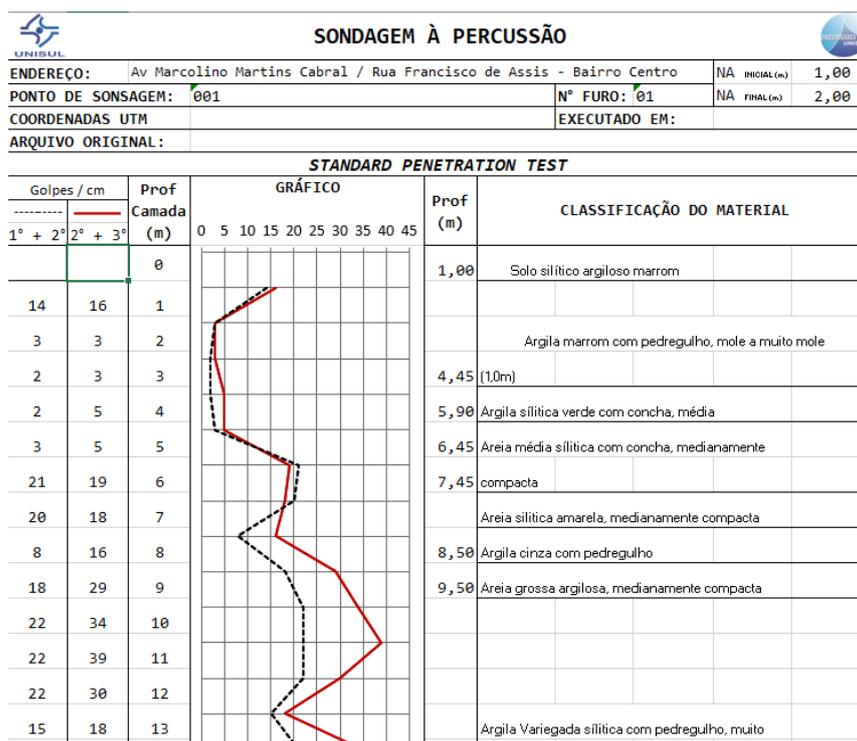


Tabela 1 - Exemplo de Laudo de Sondagem (Autor, 2021)

Todas as planilhas foram reunidas em um só arquivo, toda a informação ficou armazenada em um só local e definiu-se que as planilhas seriam categorizadas por bairros regradados por listas de Ruas. Os parâmetros devem ser definidos pelo próprio usuário, basta que ele possua consigo a localização, que será relacionado com as localizações incluídas no banco de dados, e caso a mesma não seja encontrada, é necessário que a busca seja feita por

alguma rua próxima. A ideia de informações simples gerarem dados mais concretos é o ponto fundamental da ferramenta proposta, como pode ser analisado através de um fluxograma simples, para demonstração de como a informação deve ser tratada dentro do sistema.

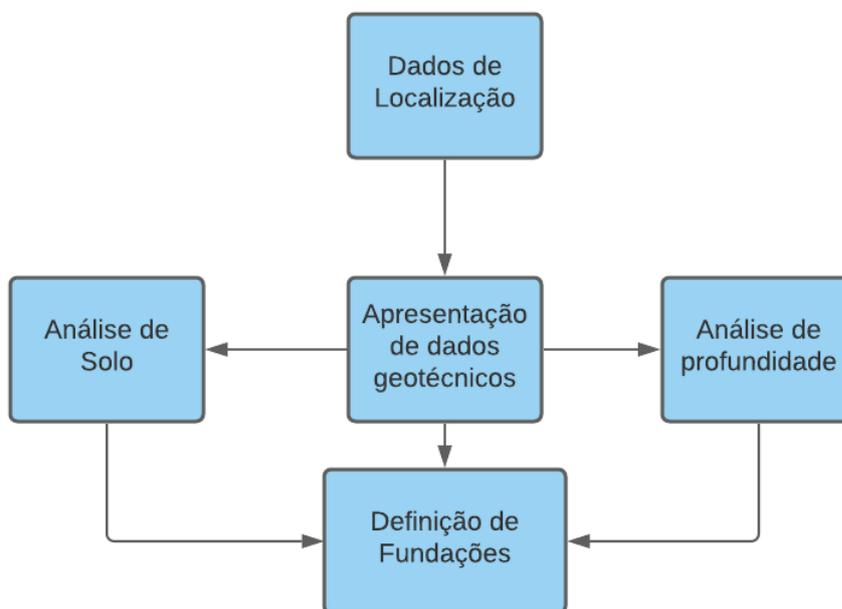


Figura 6 - Esquema de Rotina de funcionamento (Autor, 2021)

4.2.1 Dados técnicos e análise

A rotina proposta tem como principal foco facilitar o desenvolvimento de um laudo de sondagem, sem a necessidade de análises mais profundas, para que se obtenha as informações para seguir adiante. Basta que o usuário possua em mãos a localização a qual se encontra o terreno que será realizado a obra em questão, informações a respeito da profundidade e o tipo de fundação que é pretendido aplicar. Assim será necessário que seja feita apenas uma análise com relação as ruas apresentadas no banco de dados e, devido à proximidade, fazer uma escolha para que se obtenha dados mais precisos. Preenchendo os campos de localização, os dados da análise SPT já podem ser obtidos.

Foram avaliados laudos já desenvolvidos e adotou-se a disponibilidade de dados de profundidade entre 1m a 45m, a depender da análise que foi realizada por parte do profissional que disponibilizou os dados. Como resultado, a partir dessas informações também pode ser retirado a resistência como um dado fundamental. Os dados apresentados podem ser inseridos em uma rotina já predisposta. Se obtém, através dessas macros inseridas, uma ferramenta que também disponibiliza funções de análise e as informações de dados do próprio

laudo técnico. Elas podem ser inseridas na célula disponível, sendo então correlacionado com a norma ABNT NBR 6484/2001.

Esse resultado é dependente do tipo de solo apresentado, sendo argila ou areia, e por isso é disponibilizado uma opção de escolha entre os dois solos. O valor inserido correlacionado com a norma gera informações de compactidade e consistência do material apresentado, conforme tabela abaixo:

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)
¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.		

Tabela 2 - Tabela de compactidade e resistência de uma análise de solo Fonte: ABNT NBR6484/2001

4.2.2 Determinação de rotinas

Primeiramente todas as planilhas do Excel foram reunidas em apenas uma planilha principal com os laudos de sondagem. A mesma faz parte do banco de dados geral, onde toda a informação armazenada será retirada. Com essas informações já independentes, todos os dados a respeito de localização foram separados em uma planilha diferente da anterior, contendo as ruas listadas em uma classificação por bairros. Foi realizado uma separação crucial para determinar como será exibido esse fator posteriormente, a principal relação está entre as opções dadas ao usuário e o laudo técnico adotado.

Primeiramente essa Listagem foi realizada de forma básica, onde cada célula apresentava um dos bairros e ao lado estaria a listagem de ruas. Porém isso foi aprimorado através de programações de VBA (Visual Basic), dando a planilha mais formato de programa,

desenvolvendo a abertura de janela ao clique do usuário, para que essas informações sejam acrescentadas.

A fim de se buscar a informação final, foi realizado através de programação no próprio Excel utilizando-se da forma condicional (IF ou SE), criando condições para que cada opção selecionada seja de fato implementado o resultado que se espera. Ou seja, o programa automaticamente localiza no banco de dados a tabela relacionada ao laudo de sondagem SPT, buscando as informações a respeito do teste de penetração. Os dados obtidos são compilados em duas colunas correspondentes ao 1º e 2º furo, em conjunto na coluna um, e ao 3º e 4º furo na coluna dois.

Por fim, para que esse resultado obtido fosse analisado com precisão, implementou-se dois botões com macros em VBA configurados para execução de uma rotina que analisa automaticamente cada valor descrito. Os dados apresentados anteriormente no resultado obtido do banco de dados SPT devem ser correlacionados com a tabela de compactidade e resistência conforme Tabela 2 já apresentada. A macro de botões se dá através do preenchimento da célula e o clique por parte do usuário que selecionará o tipo de solo, argila ou areia, e em seguida será gerado a informação completa. Informação essa que poderá ser passada a limpo em uma formatação de laudo, conforme necessidade de quem está utilizando a ferramenta.

4.2.3 Apresentação de Telas

A tela inicial é bem básica, formatada em VBA, com apenas a identificação da Rua escolhida e um botão que levará o usuário a uma nova janela, onde poderá selecionar os próximos passos. Uma janela de opção de dados se abre após o clique, apresentando um espaço para o preenchimento de Bairro e rua de forma escrita, ou caso opte, clicando para selecionar dentre as opções disponíveis.

Rua escolhida:



Figura 7 - Tela Inicial (Autor, 2021)

Dados ×

Seleção de dados » unisul

Bairro

Rua

Confirmar

Figura 8 - Seleção de dados (Autor, 2021)

Após selecionar os dados, conforme figura 8, o nome descrito da rua move para a célula abaixo do seu local de destino, como na Figura 7, e a planilha com os devidos dados é automaticamente acionada, relacionando as condicionais de localização com os dados de resistência e profundidade. Os dados então são transcritos nas células próximas a seleção mostrando o resultado obtido.

Golpes / cm		
1° + 2°	2° + 3°	Profundidade (m)
0	0	0
2	5	1
2	6	2
3	6	3
2	4	4
1	3	5
1	4	6
4	4	7
2	9	8
1	4	9
1	9	10
5	4	11
12	29	12
0	0	13
0	0	14
0	0	15
0	0	16
0	0	17
0	0	18
0	0	19
0	0	20

Tabela 3 - Tabela de dados, resistência (Autor, 2021)

Os dados de profundidade serão apresentados juntamente a colunas que estão apresentando a resistência. Conforme a necessidade, esses dados obtidos podem ser alocados em uma nova função da planilha, que permite inserção de valores. Automaticamente esse valor (de resistência) é avaliado e a compacidade desse material será indicada em uma célula ao lado. Dois botões em baixo também complementam essa informação, dando ao usuário a opção de selecionar entre as duas opções de solo.



Figura 9 - Análise de compacidade (Autor, 2021)

4.2.4 Vantagens de uso da Ferramenta

Entende-se que através da utilização dessa ferramenta o processo, que inicialmente poderia levar de dias a algumas semanas para ser concluído, se torne mais simples. A obtenção de dados previamente compilados e relacionados em um banco de dados geotécnico tornará situações menos complexas, visto que é apenas necessária uma correlação entre áreas próximas do local de análise e crescerá de acordo com a evolução da ferramenta. Outro fator importante também seria relacionado a análise da dados obtidos, que se torna mais simples evitando a necessidade de consultas em normas técnicas, afinal os dados podem ser conferidos através da própria planilha. O objetivo desse arquivo é ser desenvolvido de forma que seja possível proporcionar o acesso e utilização simples em qualquer tipo de situação, seja dentro da própria obra, ou em uma consulta que não se esperava ser feita anteriormente. A ferramenta de busca auxilia quase que de forma automática a compilação dos dados e proporciona ao usuário, ou até mesmo a empresa, a obtenção de uma medida de comparação, mesmo que de forma básica. Evita-se por muitas vezes a necessidade de correção de erros que poderiam ter sido avaliados desde o primeiro contato com o empregador.

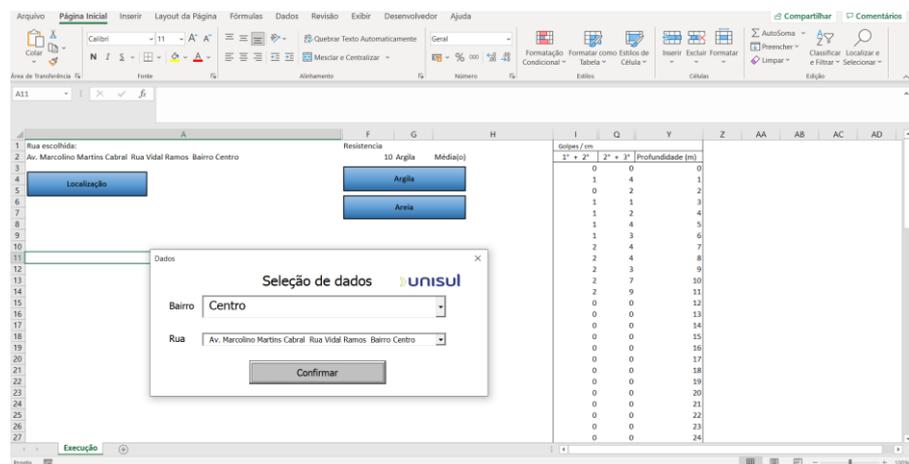


Figura 10 - Apresentação de tela de uso geral (Autor, 2021)

4.2.5 Implementações futuras

Foi realizado inicialmente um modelo para se atender os seguintes parâmetros:

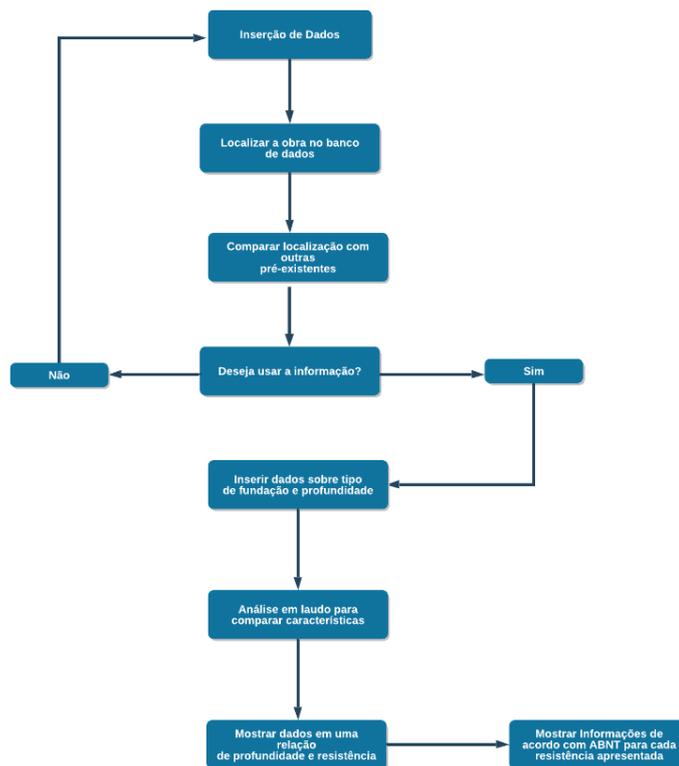


Figura 11 - Esquema de proposta inicial (Autor, 2021)

O resultado apesar de atender o que foi proposto inicialmente, avalia-se que mais informações ainda podem ser incluídas dentro do processo de análise da dados, facilitando ainda mais a obtenção de resultados necessários para o prosseguimento da obra. Seria interessante que também fosse implementado um sistema lógico através dos dados encontrados, onde uma fórmula seria acionada e essa correlação iria gerar um número que corresponda as medidas da norma ABNT NBR 6122:2010. Podendo ser feito uma correlação direta e evitando que essa análise seja feita posteriormente pelo engenheiro ou Topógrafo responsável.

Outra melhoria observada seria com relação ao Laudo de sondagem, que poderá ser aplicado diretamente no programa substituindo a tabela com as informações de resistência, pois assim as informações entrariam direto em um laudo oficial, gerando também como automação um gráfico da condição do solo para ser melhor estudado.

Por fim entende-se que esse tipo de programação será mais bem aplicado em programação do tipo Python, que abriria um leque maior de possibilidades e possíveis novas implementações para melhoria da ferramenta. Essas implementações, no entanto, não puderam ser implementadas até o momento devido a limitação do tempo disponível para o

estudo e principalmente relacionado ao conhecimento de programação do autor deste trabalho.

5 CONCLUSÃO

A necessidade de ferramentas que auxiliem ao trabalho, não só no ramo de engenharia mas tomando como foco principal de estudo, é cada vez mais necessário tendo em vista a concorrência do mercado atual e principalmente a necessidade dos profissionais de mercado de cada vez terem mais funções para serem realizadas ao mesmo tempo.

Como um todo o desenvolvimento da rotina proporcionou a experiência e a identificação de que resolver uma problemática, relacionando os fatores que se visa ter resultado com programação de dados para que se chegue a tal método. Não é um trabalho fácil de se realizar, porém todas as vezes que esse mesmo fator surgir futuramente será resolvido com mais prática, facilidade e em um período de tempo consideravelmente mais baixo, levando todos os fatores em consideração.

A ferramenta, no entanto, atendeu as expectativas geradas pela problemática proposta inicialmente apresentando dados e quando necessário realizando cálculos relacionados a resistência, compacidade e profundidade do solo. Proporcionou com sua existência um acesso quase que imediato de profissionais do ramo a outros estudos similares, aumentando a eficiência de produção e reduzindo consideravelmente o tempo de busca por materiais complementares a fim de realizar o objetivo final.

Portanto, apesar de existir implementações a serem feitas, a fim de deixar sua utilização mais cômoda e com mais funcionalidades, acredita-se que o processo de evolução estará sempre presente. Assim como em todo mercado é necessário adequar-se a nova necessidade e as modificações se mostrarão necessárias quando isso acontecer.

Como sugestão para trabalhos futuros, desenvolver rotinas integradas a diferentes plataformas e/ou sistemas operacionais, facilitando o acesso a informação e conseqüentemente a base de dados.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Ana Luiza Salgueiro de. **CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE GRANDE DIÂMETRO**. 2015. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- ASATO, Patricia Bezerra. **EDIFICAÇÕES II**. Manaus: Pronatec, 2016. 87 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Abnt, 2001.
- BATISTA, Giovanni dos Santos *et al.* **DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS COMPUTACIONAIS PARA USO NA ENGENHARIA CIVIL**. Ijuí: Unijuí, 2016. 8 p.
- BLIGHT, Geoffrey E.; LEONG, Eng Choon (ed.). **Mechanics of Residual Soils**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2012. 357 p.
- EVINCI, 2017, Curitiba. **UTILIZAÇÃO DO MÉTODO AHP EM SITUAÇÃO COTIDIANA**. Curitiba: Unibrasil, 2017. 337 p, p. 239.
- FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos Solos: conceitos e princípios fundamentais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 442 p.
- IORI, Piero *et al.* RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E AO CISALHAMENTO EM DIVERSOS USOS DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE. **Biosci. J.** Uberlândia, p. 185-195. mar. 2012.
- MAICÁ, Vinícius Marcelo de Oliveira *et al.* **ANÁLISE DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE SONDAGEM GEOTÉCNICAS**. Ijuí: Unijuí, 2020.
- MARANGON, Prof. M.. **Mecânica dos solos II**. Juiz de Fora: Uffj, 2018. 203 p.
- MARINS, Cristiano Souza *et al.* **O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) NA TOMADA DE DECISÕES GERENCIAIS – UM ESTUDO DE CASO**. 41. ed. Porto Seguro: Sbpo, 2009.
- MIOZZO, Leandro Guarnieri. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE SAPATAS DE CONCRETO ARMADO ASSENTES SOBRE SOLO SEDIMENTAR DA REGIÃO DE SANTA MARIA**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007
- REINERT, D. J. *et al.* **COMPRESS – SOFTWARE E PROPOSTA DE MODELO PARA DESCREVER A COMPRESSIBILIDADE DOS SOLOS E SEUS PARÂMETROS**. Santa Maria: Fapergs, 2003. 4 p.
- SANTOS JÚNIOR, José Edilson dos *et al.* INOVAÇÕES NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL OPORTUNIZADAS PELAS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO. **Revista Geintec**, Aracaju, v. 9, n. 4, p. 5131-5145, dez. 2019.

SILVA, R. B. *et al.* **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FÓSFORO NO ÍNDICE DE COMPRESSÃO E PARÂMETROS DE CONSISTÊNCIA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO**. 2000. P. 261-268. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agronomica, Ufla, Lavras, 2000.

VARGAS, M. Dupla Transferência: O caso da mecânica dos solos. **Revista USP**, [S. l.], n. 7, p. 3-12, 1990. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i7p3-12. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/55861>. Acesso em: 20 out. 2020.

WESLEY, Laurence D.. INFLUENCE OF STRUCTURE AND COMPOSITION ON RESIDUAL SOILS. **J. Geotech. Engrg.** Reston, p. 589-603. abr. 1990.