



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

TAMARA DE CÁSSIA CARVALHO OLIVEIRA

A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PELO MÉTODO
***STANDARD PENETRATION TEST (SPT)* NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

UBÁ – MG
2021

TAMARA DE CÁSSIA CARVALHO OLIVEIRA

**A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA PELO MÉTODO
STANDARD PENETRATION TEST (SPT) NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr^a. Erika Maria Carvalho Silva Gravina

**UBÁ – MG
2021**

RESUMO

A investigação geotécnica constitui etapa primordial na fase inicial da concepção de projetos de construção, destacando-se o *Standard Penetration Test* (SPT) como método investigativo mais utilizado por apresentar custos baixos e facilidade de acesso, além de ser de simples execução. Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade apresentar os conceitos da engenharia geotécnica e do método de ensaio SPT, além de discorrer sobre recalques do solo e as anomalias geradas por eles. Atrelado a esses conceitos, apresenta-se um estudo de caso evidenciando patologias provocadas pela falta de estudos preliminares do solo em uma edificação na cidade de Brás Pires, Minas Gerais. A elaboração deste trabalho permitiu compreender como a investigação geotécnica torna-se pré-requisito para a construção de edificações seguras e habitáveis, visto que a partir da conclusão dessa etapa é possível estabelecer a viabilidade de escolha do tipo de fundação ideal para o solo analisado, evitando, assim, que a estrutura sofra rebaixamento e, conseqüentemente, surjam patologias advindas desses recalques. Como pôde ser analisado durante o estudo de caso, a forma mais eficaz de prevenir patologias na construção é conhecer previamente o solo, uma vez que quando os danos causados não apresentam condições de serem reparados, a construção terá que ser reconstruída o que causa prejuízos e transtornos ainda maiores.

Palavras-chaves: Investigação geotécnica. Standard Penetration Test (SPT). Patologias.

ABSTRACT

The geotechnical investigation constitutes a primordial stage in the initial phase of the construction projects conception, with the Standard Penetration Test (SPT) standing out as the most used investigative method due to its low costs and ease of access, in addition to being simple to perform. This final paper aims to present the concepts of geotechnical engineering and the SPT test method, in addition to talking about soil settlements and the anomalies generated by them. Linked to these concepts, it is presented a case study showing pathologies caused by the lack of preliminary studies of the soil in a building in Brás Pires city, Minas Gerais. This work preparation allowed us to understand how the geotechnical investigation becomes a prerequisite for the construction of safe and habitable buildings, since from the conclusion of this stage it is possible to establish the feasibility of choosing the ideal type of foundation for the analyzed soil, thus preventing the structure from being lowered and, consequently, pathologies arising from these settlements. As it could be analyzed during the case study, the most effective way to prevent pathologies in construction is to know the soil in advance, since when the damage caused cannot be repaired, the construction will have to be rebuilt, which causes damage and even greater inconvenience.

Keywords: Geotechnical investigation. Standard Penetration Test (SPT). Pathologies.

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica dos materiais de construção e das técnicas construtivas da atualidade contribuíram para aumentar a qualidade das obras e diminuir o número das patologias nas construções.

No campo da engenharia civil, as patologias se resumem ao estudo da identificação de causas e efeitos de problemas que foram identificados em uma edificação. Um diagnóstico adequado de uma manifestação patológica deve indicar em que etapa do processo construtivo teve sua origem, podendo constar as possíveis formas de correção dos problemas, assim como medidas de prevenções que possam ser úteis tanto para evitar o seu surgimento quanto a sua propagação.

A investigação geotécnica é de suma importância para a construção de uma obra que proporcione segurança e habitabilidade, pois por meio desses estudos pode ser definida a resistência do solo e, conseqüentemente, a escolha do melhor tipo de fundação a ser empregado, evitando, dessa forma, o aparecimento de patologias.

O *Standard Penetration Test* (SPT) é o método de investigação geotécnica mais utilizado. Ele apresenta custos baixos e facilidade de acesso, além de ser de simples execução. Além disso, é considerado uma técnica simples de análise do solo, essencial para a escolha correta do tipo de fundação e, assim, para proporcionar a construção de uma edificação segura.

Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade apresentar os conceitos da engenharia geotécnica e do método de ensaio SPT evidenciando sua importância no desenvolvimento de projetos de construção civil, além de tratar sobre recalques do solo e as anomalias geradas por eles. Arelado a esses conceitos, apresenta-se um estudo de caso evidenciando patologias provocadas pela falta de investigação geotécnica em uma edificação na cidade de Brás Pires, Minas Gerais.

Na maioria das vezes o custo dos ensaios realizados na investigação geotécnica é menor do que o custo de recuperação das estruturas analisadas. Em alguns casos, inclusive, a estrutura necessita até mesmo de ser demolida, pela falta de recursos disponíveis para sua recuperação. Por este motivo, justifica-se esta pesquisa, pois apresenta a importância das investigações geotécnicas nos projetos de construção.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Investigações geotécnicas

De acordo com a *International Association for Engineering Geology and the Environment* (IAEG), por definição, a engenharia geotécnica é a ciência dedicada a estudar, investigar e solucionar problemas envolvendo a engenharia e o meio ambiente, através dos resultados da junção entre os trabalhos e atividades desenvolvidas pelo homem e a geologia (IAEG, 1992 *apud* QUEIROZ, 2016).

Segundo Caputo, Caputo e Rodrigues (2015), a investigação geotécnica pode ser compreendida como uma análise excessivamente rigorosa do solo e das rochas, podendo ser visual, *in situ*, ou seja, no local onde será executada a obra e até mesmo em laboratório, para obter informações sobre as características do solo e adotar medidas de prevenção de recalques ou de ruptura do maciço.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Regulamentadora (NBR) de nº 6122, na sua última versão, de 2019, indica que as investigações geotécnicas devem considerar, na etapa inicial de um projeto de edificação, o reconhecimento do terreno, através um levantamento de natureza topográfica, identificando as possíveis formas de estabilizar os taludes e averiguando a presença de aterro no local (ABNT, 2019).

De acordo com Botelho (2014), é imprescindível o conhecimento do projeto executivo da obra que será executada no local para a correta escolha do ensaio *in situ* que será realizado. Na maioria das vezes, estes ensaios serão as sondagens à percussão, que apresentarão o perfil estratigráfico do solo, a presença (ou ausência) de lençol freático e determinarão o tipo de fundação mais adequado para a obra em questão, em função da capacidade de suporte de carga desse solo. As sondagens à percussão só não são indicadas para terrenos rochosos, nestes casos, deverão ser adotadas as sondagens rotativas ou sondagens geofísicas.

A NBR 6122 (ABNT, 2019) orienta a importância de ter um conhecimento prévio do solo, constituído no mínimo por sondagens à percussão (SPT), visando classificar o solo e determinar a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração.

Botelho (2014) ainda orienta ser salutar conhecer previamente as edificações vizinhas para identificar se a nova construção causará impacto sobre elas. A NBR 6122 (ABNT, 2019, p. 10) dispõe: “devem ser considerados o estado das construções vizinhas e peculiaridades

geológico-geotécnicas na área, tais como: presença de matacões, afloramento rochoso nas imediações, áreas brejosas e minas d'água”.

Morgental (2017) indica realizar a caracterização dos solos que foram amostrados nos ensaios à percussão para complementar a investigação geotécnica. E orienta que a falta dessas informações ou a má interpretação dos dados pode causar patologias nas estruturas, problemas ambientais e aumento nos custos da construção.

2.1.1 Sondagem à percussão

De acordo com Odebrecht (2003), a sondagem a percussão é a técnica de engenharia mais utilizada para obtenção de amostras subterrâneas de solo. Isso acontece porque o seu custo é relativamente baixo, fácil execução e os equipamentos utilizados são relativamente simples. Além disso, possibilita que o trabalho seja executado em áreas de difícil acesso. No Brasil, este ensaio *in situ* é regulamentado pela NBR 6484 (ABNT, 2020).

O *Standard Penetration Test* (SPT), também conhecido como sondagem de simples reconhecimento (FIG.1), é realizado a partir de uma perfuração do solo por meio de um trado onde é possível, ao longo do seu curso, realizar “a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível d'água e os índices de resistência à penetração (N) a cada metro” (ABNT NBR 6484, 2020, p. 1).

Figura 1 – *Standard Penetration Test* (SPT) realizado *in loco*



Fonte: Além da Inércia (2021)¹.

¹ ALÉM DA INÉRCIA, 2021. Disponível em: <<https://alemdainercia.files.wordpress.com/2016/08/spt.jpg>>. Acesso em 01 de out. 2021.

Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), os índices de resistência à penetração desse ensaio tendem a ser altos para solos com algum grau de resistência e baixos em solos moles, como demonstra a TAB 1.

Tabela 1 – Estado de compactidade e resistência dos solos

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)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	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.

Fonte: ABNT NBR 6484 (2020, p. 17). Adaptado pela autora.

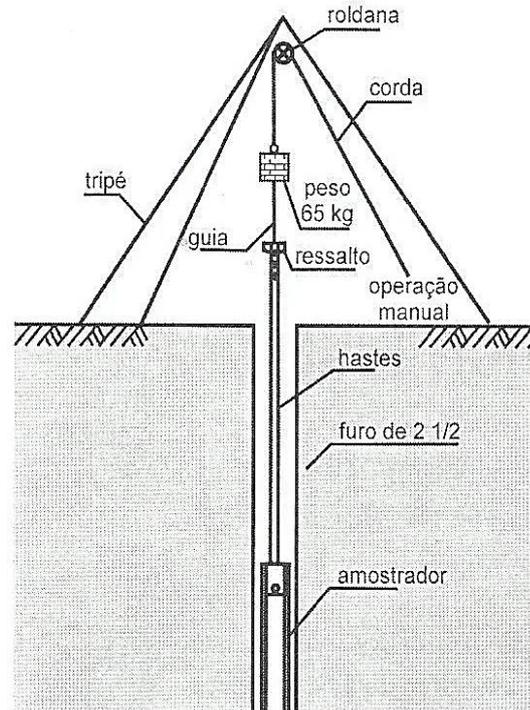
2.1.1.1 Método de ensaio

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), a execução do ensaio de sondagem SPT consiste em retirar uma amostra de solo a cada metro (m) de profundidade, a partir da superfície do terreno, sendo que o primeiro metro é perfurado com auxílio de um trado e descartado do ensaio. Para tal, utiliza-se um amostrador preso a uma haste que será cravado no solo com furo de 2,5 polegadas (pol.) de diâmetro com o auxílio de um peso de 65 quilogramas (kg) fixado em um tripé e liberado por uma roldana em queda livre de 75 centímetros (cm), conforme pode ser visualizado na FIG. 2.

Ainda em concordância com a NBR 6484 (ABNT, 2020), a cada metro de profundidade deve-se cravar o amostrador e registrar a quantidade de golpes utilizada para perfurar um trecho de 45 cm de solo. A resistência à penetração do solo (N) é definida a partir do somatório do número de golpes para vencer os dois últimos terços de um trecho de 45 cm, sendo descartado o primeiro um terço da amostra. Os 55 cm restantes para se completar o

metro do perfil estratigráfico é perfurado com auxílio do trado e descartado do ensaio. Após realizar a cravação dos 45 cm, é retirado o amostrador padrão e são coletadas amostras do solo permitindo análise tátil e visual, como pode ser visualizado na FIG. 3. Esta ação deve ser feita ao longo de todo perfil geotécnico e os valores obtidos, computados (FIG. 4).

Figura 2 – Equipamento utilizado para realização do ensaio SPT



Fonte: Além da Inércia (2021)².

Figura 3 – Retirada de amostra de solo do amostrador para caracterização

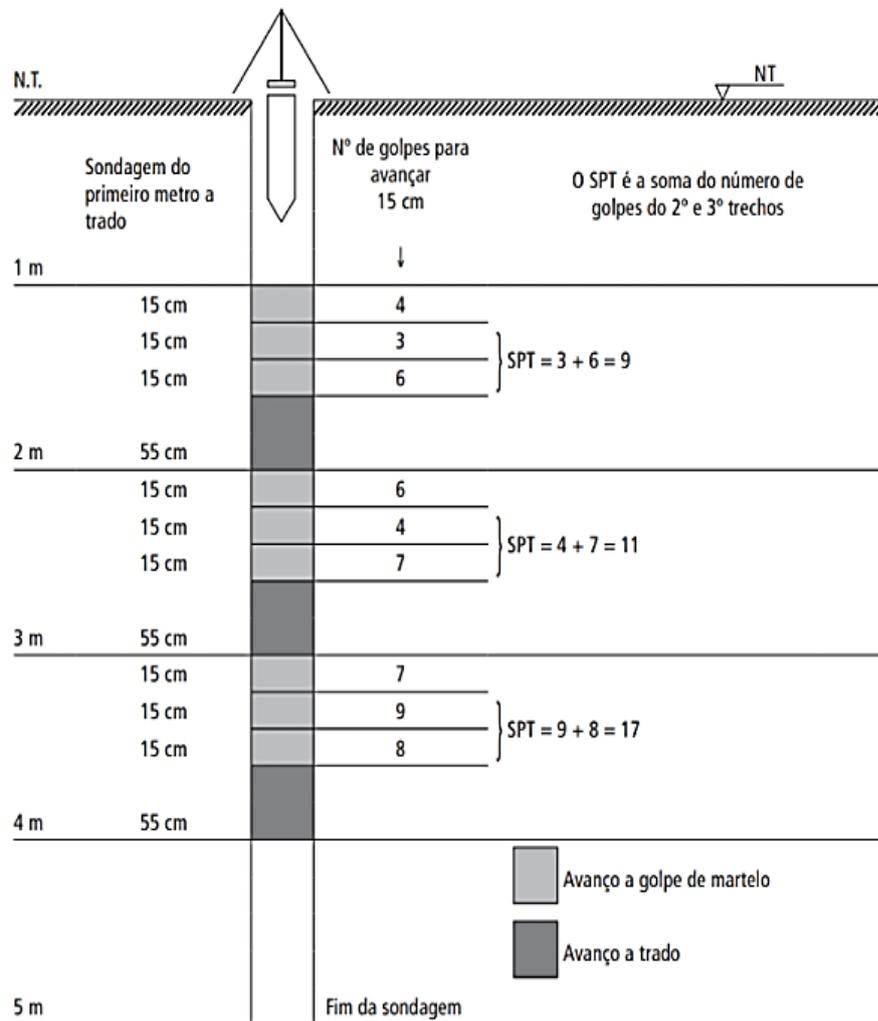


Fonte: Dicionário Geotécnico (2021)³.

² ALÉM DA INÉRCIA, 2021. Disponível em: <<https://alemdainercia.com/2016/08/09/entenda-uma-sondagem-spt/>>. Acesso em 19 set. 2021.

³ DICIONÁRIO GEOTÉCNICO, 2021. Disponível em: <<http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/geotecnia/ensaios/spt/images/image/DG%20-%2015%20-%20Amostrador%20Bipartido%20Aberto.jpg>>. Acesso em 19 set. 2021.

Figura 4 - Evolução da sondagem



Fonte: Botelho (2014, p.42).

2.1.1.2 Interpretação dos resultados

Os resultados do ensaio SPT são apresentados através de um gráfico do perfil estratigráfico do furo analisado, cujas colunas estão em função da profundidade do solo analisado. Neste gráfico encontram-se as informações sobre os índices de resistência à penetração do solo encontrado (N), o nível em que se encontra o lençol freático, perfil geológico, a classificação do material presente nas camadas e a profundidade a que se encontram as diferentes camadas presentes no perfil analisado (ODEBRECHT, 2003).

A FIG. 5 apresenta um relatório de ensaio SPT em que podem ser visualizados os itens comentados no parágrafo supracitado. Ainda podem ser visualizadas, na terceira coluna, três frações, representando os três trechos de 15 cm necessários para avançar o ensaio a cada metro de profundidade. O denominador representa a espessura do trecho, em centímetros. Por

sua vez, o numerador representa a quantidade de golpes que foram utilizados para atravessar o trecho considerado. A resistência à penetração (N), presente na quarta coluna, deve ser calculada somando os golpes obtidos no segundo e terceiro trecho de 15 cm e desprezando os golpes do primeiro trecho, conforme regulamenta a NBR 6484 (ABNT, 2020).

Figura 5 – Relatório de ensaio SPT

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT NBR 6484/01											
CLIENTE: HL CADASTROS					SONDAGEM À PERCUSSÃO					SP01	
OBRA: EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL - MUNICÍPIO DE MACACOS					INÍCIO: 09/03/2017					TÉRMINO: 09/03/2017	
LOCAL: RUA SÃO LUIZ - MUNICÍPIO DE MACACOS					COTA: -					COORD. N: -	E: -
		PROFUNDIDADE	ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PENET.)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR: Ø INTERNO = 34,9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: 2,00 m	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO	
10 20 30 40				SPT				DESCRIÇÃO DO MATERIAL			
1,00		1/15	1/15	2	SOLO COLUMNAR	D0		ARGILA SILTOSA COM POUCA AREIA FINA, CONSISTÊNCIA MUITO MOLE A MOLE, COR MARROM		TC 1,00	
2,00		1/15	1/15	3		D1					
3,00		2/15	2/15	4		D2					
4,00		2/15	2/15	4		D3					
5,00		2/15	3/15	6	SOLO RESIDUAL	D4	4,80	SILTE ARGILOSO COM AREIA FINA, CONSISTÊNCIA MÉDIA, COR AMARELA COM MANCHAS ESBRANQUIÇADAS			
6,00		3/15	3/15	6		D5					
7,00		10/15	12/15	24	SOLO RESIDUAL	D6	7,00	SOLO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA, FILITO ALTERADO COM VEIOS DE PEDREGULHOS FINOS, COMPACTO A MUITO COMPACTO, COR MARROM			
8,00		17/15	30/15	30/15		D7					
9,00		18/15	30/10	30/10		D8					
10,00								IMPENETRÁVEL AO AMOSTRADOR			
11,00								NOTA: Furo paralisado conforme descrito no item 6.4.1 da norma NBR6484:2001 - Solo - Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT.			
										= SECO EM 10/03/2017	

Fonte: Torres Geotecnia⁴ (2017, p. 6).

2.1.2 Caracterização do solo amostrado

De acordo com Murrieta (2018), para efeitos de caracterização do solo é necessário conhecer primeiramente como são classificados a partir do tamanho dos grãos. Os solos grossos, como os pedregulhos e as areais, são caracterizados por serem grãos que não têm coesão entre eles sendo, portanto, separáveis, permeáveis, individualizados e facilmente

⁴ TORRES GEOTECNIA, (2017). Disponível em: <<http://www.torresgeotecnia.com.br/wp-content/uploads/sites/155426/2017/03/RELAT%C3%93RIO-DE-SONDAGEM-%C3%80-PERCUSS%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2021.

visíveis a olho nu. Já os solos finos como siltes e argilas são formados por grãos extremamente pequenos, até difíceis de serem vistos a olho nu e apresentam uma alta impermeabilidade. Conforme pode ser verificado na TAB.2. Condizente como regulamenta a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Tabela 2 - Classificação dos solos de acordo com o tamanho dos grãos.

Textura	Nome	Tamanho dos grãos (mm)	
		Menor que	Maior que
Solos grossos	Pedregulhos	60	2
	Areias	2	0,06
Solos finos	Siltes	0,06	0,002
	Argilas	0,002	

Fonte: Murrieta (2018, p.2). Adaptado pela autora.

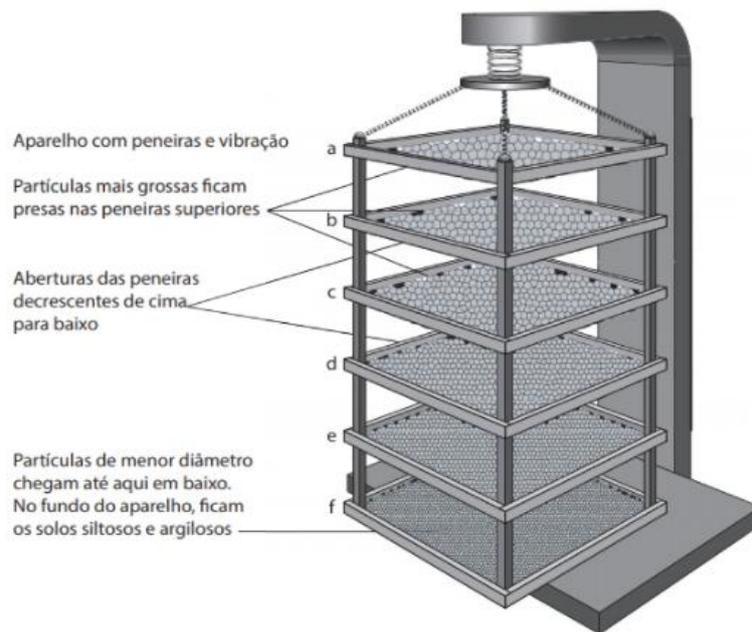
De acordo com Morgental (2017), a caracterização mecânica dos solos em laboratório constitui uma importante etapa na investigação geotécnica. Como aponta Caputo, Caputo e Rodrigues (2015), o solo é composto por um conjunto de partículas sólidas, e entre elas existem vazios que podem ou não estar preenchidos por água. Conhecer a interface das partículas e identificar a interação entre elas e a estrutura que se deseja construir ajuda a prevenir patologias como recalques e até mesmo a própria ruptura do terreno. A partir de um ensaio de rotina simples como análise granulométrica, é feita a caracterização física do solo. Este ensaio fornece parâmetros e índices que conseguem identificar não somente a natureza do solo, como também suas propriedades mecânicas (MORAIS, 2014).

Na análise granulométrica é possível determinar as dimensões das partículas dos solos e classificá-los de acordo com a granulometria, em solos de partículas grossas como os pedregulhos e areia, partículas intermediárias como os siltes e as partículas finas que são o caso das argilas (MURRIETA, 2018). Os resultados então são demonstrados em um gráfico denominado “curva granulométrica”, conforme regulamenta a NBR 7181 (ABNT, 2018), que tem por objetivo possibilitar a determinação geral das características físicas do solo, como pode ser visualizado na FIG. 7.

No ensaio de análise granulométrica realiza-se o peneiramento do solo (FIG. 6), em cada peneira irá ficar retida uma fração de solo. A fração mais grossa ficará nas peneiras superiores, e as mais finas nas peneiras inferiores, essa amostra é pesada para obtenção de dados que serão representados em um gráfico (FIG.7) onde na abscissa é representada a

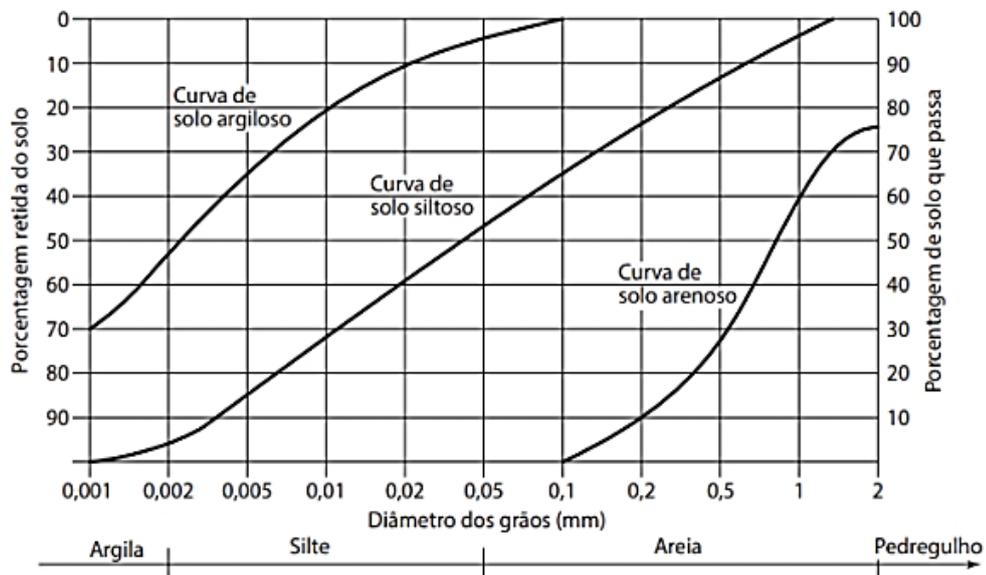
abertura da malha da peneira, em escala logarítmica, e na ordenada é representada a porcentagem de peso das partículas que passaram ou que foram retidas em cada peneira. Esse ensaio de granulometria possibilita dividir os solos em dois grupos: “o peneiramento grosso para partículas maiores que 2,0 mm de diâmetro, e o peneiramento fino para solos com partículas entre 2,0 mm e 0,074 mm” (MURRIETA, 2018, p.43).

Figura 6 – Ensaio de peneiramento do solo



Fonte: Botelho (2014, p.21).

Figura 7 – Curva granulométrica



Fonte: Botelho (2014, p.23).

Além da análise granulométrica, Caputo (1988) aponta os principais índices físicos que devem ser considerados na investigação geotécnica: índice de vazios, grau de compactidade e grau de saturação.

2.1.2.1 *Índice de vazios*

Segundo Caputo (1988), o índice de vazios pode ser definido como a relação entre o volume de vazios e o volume da parte sólida de um solo.

De acordo com Zorzan *et al.* (2019), o índice de vazios é uma propriedade imprescindível para o estudo da compressibilidade e colapsibilidade do solo, e apontam que, quanto menor o índice de vazios de um solo, menor é sua capacidade de compressão, isto é, menor será sua tendência a sofrer recalque, e maior será sua capacidade de carga.

2.1.2.2 *Grau de compactidade*

De acordo com Caputo (1988), o grau de compactidade é um índice utilizado para determinar o grau de compactação de um material granular, não coesivo, como os solos arenosos. Zorzan *et al.* (2019) explicam que este índice é responsável por determinar o estado em que o solo se encontra, podendo ser fofo ou compacto, influenciando diretamente na resistência mecânica do solo e, conseqüentemente, na possibilidade de sofrer recalques. Como pode ser visto na TAB. 1, os resultados obtidos no ensaio de SPT correlacionam o índice de resistência à penetração ao grau de compactidade do solo.

2.1.2.3 *Grau de saturação*

Segundo Zorzan *et al.* (2019, p.13), “o grau de saturação de um solo indica a porcentagem de seu volume de vazios preenchido por água”. O aumento ou a queda da resistência do solo está interligada ao balanço entre algumas características do solo como a densidade, coesão, porosidade e seu grau de saturação.

De acordo com Caputo (1988), somente as tensões efetivas mobilizam resistência ao solo. Sabendo-se que as tensões efetivas são aquelas geradas por atrito de contato grão a grão das partículas sólidas do solo, a presença de água no solo diminui o contato entre os grãos e, assim, reduz a resistência do solo.

2.2 Tensões admissíveis e capacidade de carga no solo

Segundo Caputo (1988), as tensões atuantes em um maciço de terra geralmente são advindas do peso próprio do solo e em decorrência de carregamentos nas superfícies do maciço.

Guimarães e Peter (2018), apontam que cada tipo de solo exerce influência de formas diferentes nas tensões, sendo de suma importância o conhecimento prévio do estado de tensões em pontos do solo, tanto antes de construir, como após a construção de uma edificação.

Para Pina (2013), a determinação correta da capacidade de carga que determinado solo suporta é de suma importância para profissionais que atuam na área de construção civil, em especial aqueles que desenvolvem projetos de fundações. O conhecimento do solo cuja obra será edificada é primordial para entender que tipo de obra poderá ser construída e, posteriormente, avaliar a interação entre a construção e o solo analisado.

De acordo com Botelho (2014), a distribuição de tensões no terreno possibilita a previsão dos mais diversos problemas de solos, como os recalques, que são os fenômenos que ocorrem quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação ou a incapacidade de o solo de suportar a carga da construção, gerando a ruptura do maciço de solo em que a fundação está apoiada.

2.3 Correlação entre a parametrização do solo e a capacidade de carga do solo

A análise granulométrica, a identificação do índice de vazios, do grau de saturação e do grau de compactação do solo, aliadas ao ensaio SPT, fornecem importantes dados sobre o solo analisado, que será levado em consideração durante a elaboração do projeto de fundações (MORGENTAL, 2007).

De acordo com Caputo (1988), a coesão do solo está intimamente ligada ao tamanho dos grãos e a presença de espaços vazios entre eles. Sendo assim, solos granulares tendem a ser menos coesos que solos finos, o que justifica a análise granulométrica e a identificação do índice de vazios da amostra durante o processo de investigação geotécnica.

Além disso, de acordo com Pereira (2015), conhecer o grau de compactação do solo e o seu respectivo índice de resistência à penetração (N) proporciona a identificação da tensão admissível para este solo.

2.4 Projeto de fundações

O projeto de fundações estruturais exige o conhecimento das características do solo, das cargas que serão transmitidas à fundação e, sobretudo, da interação entre solo e estrutura (DAS, 2016).

De acordo com Prudêncio (2011), após ser feita uma análise criteriosa do solo, deve ser estudada o tipo de fundação que melhor irá atender às solicitações do projeto executivo, podendo ser adotadas fundações rasas ou profundas, de acordo com os diagnósticos obtidos na investigação geotécnica do terreno.

A escolha do tipo de fundação a ser utilizada é feita por eliminação, sempre verificando a possibilidade de executar fundação rasa, que é mais viável e econômica. Não havendo possibilidade técnica de execução desse tipo de fundação, deverão ser usadas estacas ou tubulões que são as fundações profundas, verificando sempre a melhor forma de atender às cargas solicitantes e sempre observando o nível de água (JOPPERT, 2007 *apud* PRUDÊNCIO, 2011).

De acordo com Berberian (2001 *apud* ANDRADE, 2003), após ser realizado o ensaio de SPT e já com o relatório preenchido com o número de golpes, analisa-se o melhor tipo de fundação, considerando de acordo com a TAB.3, o ideal para execução de fundações rasas sendo acima de 25 golpes. Se estiver abaixo desse valor, será preciso verificar a viabilidade da fundação ideal a ser utilizada. Todavia, a escolha do tipo de fundação para uma obra depende não somente do índice de resistência do solo, como também do porte da edificação, verificação de presença de construções vizinhas e fatores econômicos (FALCONI; NIYAMA; ORLANDO, 2019).

Tabela 3 - Qualificação da camada de assentamento em função do SPT.

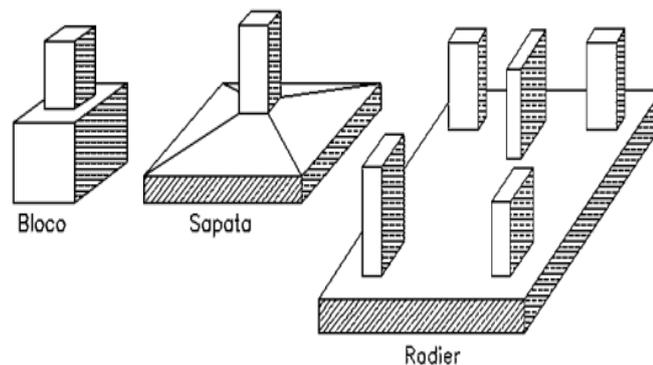
Número de golpes do ensaio SPT (N)	Qualificação da camada
< 10	Ruim
10 a 20	Razoável
20 a 25	Bom
25 a 30	Ideal

Fonte: Berberian (2001 *apud* ANDRADE, 2003 p.27). Adaptado pela autora.

2.4.1 Fundações rasas

Segundo as definições da NBR 6122 (2019), uma fundação rasa é um elemento na qual a base está assentada em uma profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, em que solo imediatamente abaixo da base do elemento recebe as tensões distribuídas que equilibram as cargas aplicadas. Geralmente esse tipo de fundação atinge uma profundidade mínima de 1 metro e máxima de 3 metros. Em concordância com a NBR 6122 (2019), Pimentel, Rosa e Assis (2019) ressaltam que as fundações rasas, superficiais ou diretas são aquelas cujas cargas dos pilares são transmitidas de forma homogênea nas bases das edificações. Na FIG. 8 podem ser visualizados exemplos de fundações rasas comumente utilizadas na construção civil.

Figura 8 – Exemplos de fundações rasas



Fonte: Velloso e Lopes (2012 *apud* CARVALHO, 2015, p.17).

Os blocos são elementos feitos de concreto sem necessidade de utilização de armadura. Desse modo, as tensões de tração atuantes são resistidas pelo concreto, porém são elementos viáveis somente em obras de pequeno porte e solos com alto índice de capacidade de suporte de carga. Em contrapartida, as sapatas são elementos executados em concreto armado a fim de absorver as cargas da superestrutura e transmiti-las ao terreno, caracteriza-se, principalmente, por trabalhar a flexão (ALONSO, 2019).

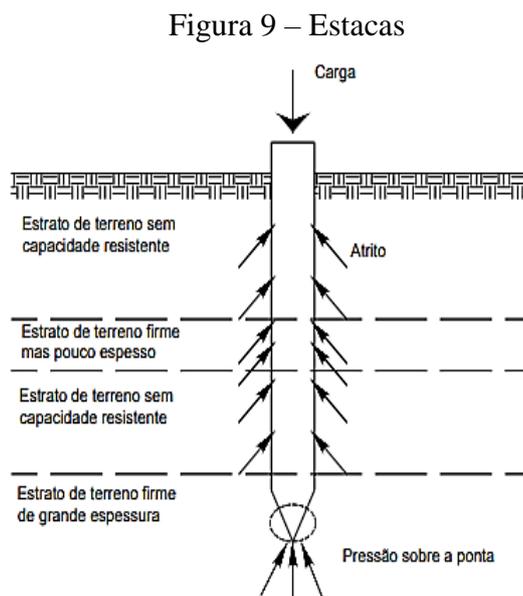
O radier se assemelha a uma placa ou laje que abrange toda a área da construção, é executado em concreto armado e em contato direto com o terreno, recebe as cargas e as transmite sobre uma ampla área do solo. Esse tipo de fundação é usual em casos em que o solo possui baixa capacidade de cargas, sempre atentando-se ao preparo e à compactação do terreno de apoio (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020).

Pimentel, Rosa e Assis (2019) ainda relatam que essas fundações superficiais frequentemente utilizadas em obras de pequeno porte, na maioria das vezes, são projetadas sem um profissional da área, sendo executadas por pedreiros autônomos e que as executam baseados em experiência empírica, gerando um padrão de dimensionamento divergente da regra normativa, causando irregularidades no dimensionamento da estrutura e gerando horas fundações frágeis e ineficientes, horas peças superdimensionadas, aumentando desnecessariamente o custo da obra para o proprietário.

2.4.2 Fundações profundas

De acordo com Felipe e Araújo Junior (2018), as fundações profundas são caracterizadas por apresentar uma profundidade mínima de três metros, e têm a função de transmitir forças para sua área da base e pelas laterais, também conhecidas como fustes, podendo ser apresentadas em forma de tubulões e estacas.

As estacas são caracterizadas por apresentar grandes comprimentos e seções transversais pequenas, por serem executadas por ferramentas e equipamentos não há a necessidade de o operário descer até o final para sua execução, como apresenta a FIG. 9. São elementos estruturais cravados ou perfurados, podendo ser de madeira, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco* ou mistos (PIRES, 2018).

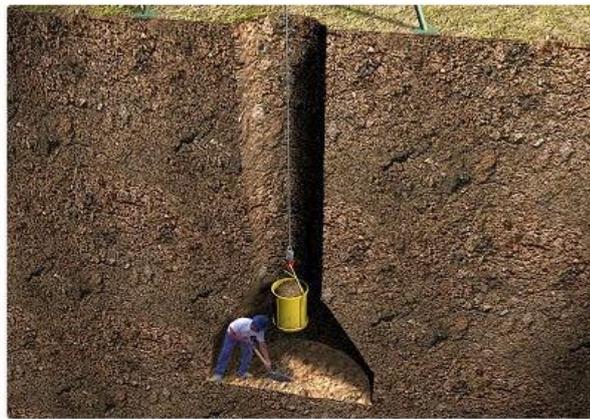


Fonte: Clique Arquitetura (2018)⁵.

⁵ CLIQUE ARQUITETURA, 2018. Disponível em: <<https://www.cliquearquitetura.com.br>>. Acesso em: 04 de out. de 2021.

Seguindo a definição estabelecida pela NBR 6122 (ABNT, 2019), tubulão é definido como uma fundação profunda e pode ser escavado manualmente ou mecanicamente, sendo necessária a descida do operário pelo menos na fase final, como apresenta a FIG. 10, para execução do alargamento da base ou até mesmo fazer a limpeza do fundo quando não há uma base. Para este tipo de fundação as cargas são transmitidas pela base a uma estrutura com maior resistência, geralmente é empregado acima do lençol freático. Porém, em casos em que o solo se mantém estável sem risco de desmoronamento e sendo possível controlar a água no seu interior, pode ser executado abaixo do lençol freático, sempre cumprindo as normas exigidas.

Figura 10 – Tubulão



Fonte: Escola Engenharia (2015)⁶.

2.5 Compressibilidade e adensamento dos solos

De acordo com Caputo (1988), a compressibilidade deve ser entendida como a deformação de todos os materiais ao serem submetidos por carregamentos externos, ou seja, a diminuição do volume em decorrência da ação das cargas aplicadas. No caso dos solos e sua típica estrutura trifásica (grãos, água e ar), tal deformação tende a ocorrer gradativamente, de acordo com a tensão aplicada e o tempo.

Caputo, Caputo e Rodrigues (2015) orientam que a compressibilidade depende do tipo de solo. A compressibilidade em areias, devido a sua alta permeabilidade, ocorrerá rapidamente, pois a água poderá drenar facilmente. Em compensação, nas argilas, a extração de água é lenta devido à baixa permeabilidade, portanto, as deformações e recalques ocorrem ao longo do tempo, até que se conduza o solo a um novo estado de equilíbrio, sob as cargas

⁶ ESCOLA ENGENHARIA, 2015. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/>>. Acesso em: 04 de out. de 2021.

aplicadas. Essas variações volumétricas que ocorrem, ao longo do tempo, constituem o processo de adensamento (CASTELLO, 2019).

2.6 Patologias geotécnicas

2.6.1 Recalques

Segundo Murrieta (2018), as deformações das camadas de solo, quando submetidos a cargas, são chamadas de recalques, que ocorrem quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação, variação volumétrica do solo que está abaixo da fundação, eliminação de vazios e compressibilidade dos grãos.

Botelho (2014) ressalta que os rebaixamentos podem ocorrer em apenas alguns pontos do terreno, sendo chamados de recalque diferencial ou de forma uniforme em toda a área, chamados de recalque uniforme.

Moura (2016) completa que a ocorrência dessas deformações causa movimentação nas fundações, podendo gerar sérios danos à construção. Como usualmente os materiais empregados na construção civil não possuem muita elasticidade, a tendência é que essa movimentação contribua para a ruptura desses materiais. E cita como exemplos de recalques diferenciais do solo, a Torre de Pisa, construída na Itália entre 1173 e 1372⁷ e a construção dos edifícios na orla de Santos, em São Paulo, no início dos anos 70, como pode ser visualizada nas FIG. 11 (a e b), respectivamente.

Figura 11 – Recalque diferencial do solo sob a Torre de Pisa e sob os edifícios de Santos



Figura (a)



Figura (b)

Fontes: Website HYPENESS (2018)⁸, UNICAMP (2021)⁹.

⁷ ITALY MUSEUM, 2021. Acesso em: <<https://www.florence-museum.com/br/torre-inclinada-de-pisa.php>>. Acesso em 01 out. 2021.

⁸ HYPENESS, 2021. Acesso em: <https://www.hypeness.com.br/1/2018/05/Pisa_HORIZONTAL.jpg>. Acesso em 01 out. 2021.

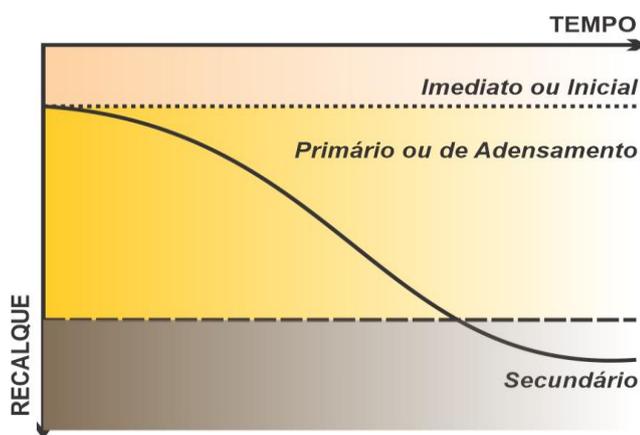
⁹ UNICAMP, 2021. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/pedologia/wp-content/uploads/sites/41/2021/06/LABPED-UNICAMP-1.png>>. Acesso em 01 out. 2021.

Marsal e Mazari (1992 *apud* PACHECO, 2017) apontam recalque uniforme na Cidade do México, percebidos entre 1940 e 1960, ocasionando danos na infraestrutura da cidade e sérios problemas na estabilidade das construções dispostas sobre o antigo lago de Texcoco. De acordo com Marsal e Mazari (1992 *apud* PACHECO, 2017), o agente principal que provocou esse fenômeno foi a extração excessiva de água dos aquíferos dentro da área urbana da cidade do México. Marsal e Mazari (1992 *apud* PACHECO, 2017, p. 19) relatam que “o declínio constante no nível das águas subterrâneas provoca a diminuição da pressão da água intersticial, causando o adensamento das argilas moles” e, conseqüentemente, promove o recalque do solo nessas regiões.

2.6.1.1 Classificação dos recalques

Sejam diferenciais ou uniformes, os recalques de fundações são classificados em recalque imediato ou inicial, por adensamento primário e por adensamento secundário, conforme ilustra a FIG. 12.

Figura 12 – Classificação dos recalques



Fonte: Neo Ipsum (2020)¹⁰. Adaptado pela autora.

Segundo Souza e Reis (2008), o recalque inicial ocorre geralmente em solos arenosos e não saturados quando as tensões advindas dos carregamentos são transmitidas ao solo, expulsando imediatamente os vazios deste solo.

Este tipo de recalque ocorre porque os solos arenosos são altamente permeáveis e promovem uma rápida variação do seu volume de acordo com os carregamentos incidentes.

¹⁰ NEO IPSUM, 2020. Disponível em: <<https://neoipsum.com.br/tipos-de-recalque/>>. Acesso em: 14 out. 2021.

Em contrapartida, os solos saturados apresentam uma baixa permeabilidade e consequentemente uma lenta variação do volume (MOURA 2016).

O recalque por adensamento primário se dá pela eliminação gradual de água dos vazios do solo, essa expulsão da água é um processo lento e particularmente importante no caso dos solos argilosos (SOUZA; REIS, 2008).

O recalque por adensamento secundário corresponde à variação de volume ocorrida após a eliminação total da pressão neutra, que é pressão que a água exerce nos vazios do solo. Representam os deslocamentos por deformações mais lentas do solo (SOUZA; REIS, 2008).

2.6.1.2 Anomalias nas edificações recalçadas

De acordo com Oliveira (2012), os recalques geram desde fissuras até brechas nas edificações. O tamanho da abertura das frestas provocadas pelos recalques (TAB. 4) é diretamente proporcional ao colapso gerado no terreno analisado. A TAB.4 apresenta o detalhamento de medida das anomalias.

Tabela 4 - Detalhamento de medidas das anomalias

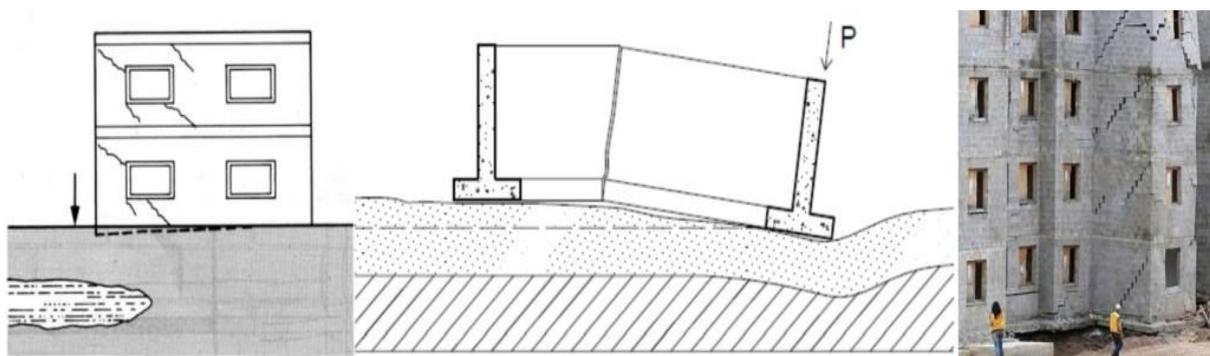
Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	1,5 a 5,0
Fenda	5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Oliveira (2012 *apud* Zanzarini, 2016 p.25). Adaptado pela autora.

Segundo Oliveira (2012 *apud* Zanzarini, 2016), essas anomalias apresentam-se geralmente com algum ângulo de inclinação e apontam onde ocorreu o maior recalque, pois tendem-se a “deitar” em direção ao local do rebaixamento do solo, conforme indica a FIG. 13.

De acordo com Zanzarini (2016), os pavimentos térreos geralmente são os mais afetados com as fissuras provocadas pelos recalques em fundações, podendo ser atribuídas a essas anomalias características como a existência de esmagamentos localizados em forma de fissuras horizontais com componentes inclinados (escamas), indicando as tensões de cisalhamento que as provocaram.

Figura 13 – Identificação de anomalias geradas por recalque



Fonte: Geosensori (2021).¹¹

2.7 Estudo de caso

O estudo de caso a seguir apresenta anomalias originárias de recalque diferencial ocorrido sob a fundação de uma construção residencial localizada à Rua Domingos Rivelli, no centro da cidade de Brás Pires, Minas Gerais. Construída em 2007, sobre um terreno de 873,08 m², com uma área construída de 154,23 m², a edificação foi executada em infra e superestrutura de concreto armado, vedação em alvenaria e cobertura em telhado de madeira e cerâmica, como pode ser visualizado na FIG. 14.

Figura 14 – Edificação analisada



Fonte: A autora (2021).

As figuras a seguir indicam o aparecimento de aberturas na parede da cozinha (FIG. 15A e 15B), no contrapiso da cozinha (FIG. 16), paredes dos quartos (FIG. 17A e 17B) e

¹¹ GEOSENSORI, 2021. Disponível em: < <https://i0.wp.com/www.geosensori.com.br/wp-content/uploads/2020/05/imagensunidas.jpg?resize=1024%2C246&ssl=1>>. Acesso em 04 out. 2021.

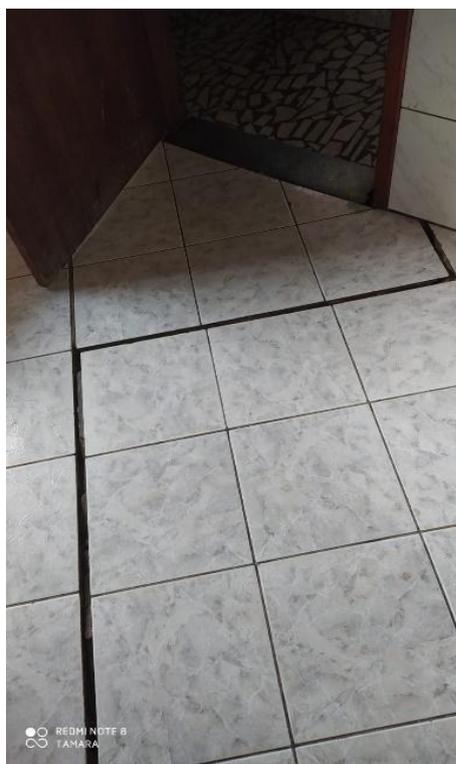
paredes externas (FIG. 18A e 18B). As medições feitas no local apresentam aberturas superiores a 10 mm que são denominadas “brechas”, provocadas pelo recalque diferencial ocorrido na edificação.

Figura 15 A e 15 B – Abertura de brechas na parede da cozinha



Fonte: A autora (2021).

Figura 16 – Abertura de brechas no contrapiso da cozinha



Fonte: A autora (2021).

Figura 17A e 17B – Abertura de brechas nas paredes dos quartos



Fonte: A autora (2021).

Figura 18A e 18B – Abertura de brechas nas paredes externas



Fonte: A autora (2021).

Este recalque estimulou a movimentação da fundação, desencadeando patologias na edificação. A FIG. 19 apresenta o rebaixamento que ocorreu entre os balaústres de concreto e a contraverga do parapeito. A cobertura já não se encaixa perfeitamente sobre os pilares e paredes, apresentando intensa movimentação.

Figura 19– Rebaixamento entre balaústres e contraverga do parapeito



Fonte: A autora (2021).

Segundo o proprietário do imóvel, logo após a construção da edificação começaram a surgir fissuras e trincas que evoluíram para brechas, com o decorrer do tempo. Ele também relata já ter feito várias reformas no local na tentativa de sanar as patologias da construção, chegando a realizar reforços nas fundações, aumentando o número de sapatas e pilares, mas não obteve êxito. Haverá a necessidade de demolir a edificação, uma vez que reforços estruturais já realizados não puderam sanar o problema, que persiste.

As patologias encontradas nessa construção ocorreram pela falta de investigação geotécnica. O solo sob a edificação era constituído de aterro não compactado e sua resistência era inferior à carga aplicada pela edificação. Não havendo conhecimento prévio dessas características, não foi indicada pelos construtores nenhuma ação mitigatória, como, por exemplo, a correção da compactação do solo ou a escolha de fundações profundas para a edificação.

O proprietário pretende reconstruir a edificação no mesmo local após demolição, porém, realizando um correto estudo do solo, através do SPT. Ele ainda garante que serão tomadas todas as precauções para que seja construída uma casa segura e habitável.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais presente nas edificações, as patologias ocorrem por motivos diversos, incluindo a falta de projeto e planejamento da obra, falha na execução, uso de materiais de baixa qualidade, mão de obra desqualificada e pela falta de investigação geotécnica.

A elaboração deste estudo e a exposição dos conceitos sobre a finalidade e a importância da sondagem do solo pelo método do SPT (*Standard Penetration Test*), permitiu perceber que o correto planejamento de obra com todos os possíveis estudos sobre as condições do terreno pode evitar transtornos futuros e gastos ainda maiores ao proprietário.

O tipo de fundação a ser escolhida depende diretamente do resultado da análise do solo, feita por eliminação, sempre verificando a possibilidade de ser implantada uma fundação viável e econômica, que é o caso das fundações rasas. E quando se descarta essa possibilidade técnica de execução, deve ser avaliado qual tipo de fundação profunda será mais bem atribuída à construção de modo a atender as solicitações das cargas.

Em praticamente todas as fundações ocorrem recalques, porém, algumas vezes, esses recalques ultrapassam os limites previstos em projetos, culminando o surgimento de anomalias na construção, como o aparecimento de fissuras. Os recalques podem acontecer de forma uniforme, em que toda a construção sofre um rebaixamento por igual, ou os chamados recalques diferenciais, que ocorrem quando apenas uma parte da estrutura sofre rebaixamento e em casos mais extremos podem resultar na ruína da edificação.

Ao analisar o recalque diferencial ocorrido em uma residência na cidade de Brás Pires, Minas Gerais, pôde-se perceber como a não observância das características do solo de fundação gerou resultados insatisfatórios em longo prazo, originando como consequência anomalias impossíveis de serem reparadas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de Fundações**. 400 p. Rio de Janeiro: GEN, 2020. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636977/>>. Acesso em: 16 out. 2021.
- ALONSO, Urbano Rodriguez. Fundações rasas (blocos e sapatas). *In: Exercícios de fundações*. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2019. p. 3-5.
- ANDRADE, Alysson Rodrigo de. **Caracterização dos Elementos de Fundações aplicáveis em Edificações na região de Florianópolis**. 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, na área de Geotecnia). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/84644/196368.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 17 nov. 2021,
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 6484**. Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. **NBR 6502**. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 7181**. Análise Granulométrica – Solo. Rio de Janeiro, 2018.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. 184 p. São Paulo: Blucher, 2014. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208501/pageid/112>>. Acesso em: 05 out. 2021.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. vol. 1. 6 ed. 244 p. Rio de Janeiro: LCT, 1988.
- CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, José Martinho de Azevedo. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra**. vol. 2, ed.7. 556 p. Rio de Janeiro: GEN, 2015. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-3007-4/>>. Acesso em: 24 set. 2021.
- CARVALHO, Mauricio Dutra de. **Fundações Superficiais**: análise comparativa entre fundação superficial do tipo sapata isolada e radier liso em obra de edificação. 2015. 91 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil). Faculdade Santa Rita, Conselheiro Lafaiete, 2015. Disponível em: <https://www.fasar.com.br/arquivos/projetos/engciv/EngCiv-2015-Analise_Comparativa_entre_fundacao-TCC.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.
- CASTELLO, Jéssica Pereira. **Avaliação das características de compressibilidade e adensamento de um depósito de argila mole de Santa Cruz, Rio de Janeiro**. 213 f.

Dissertação (Mestrado em Geotecnia Experimental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/52744/52744.PDF>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAS, Braja M. **Princípios de engenharia de fundações**: Tradução e adaptação da 8. ed. norte-americana. 340 p. São Paulo: Cengage Learning, 2016. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124169/>>. Acesso em: 30 set. 2021.

FALCONI, Frederico Fernand; NIYAMA, Sussumu; ORLANDO, Celso. Concepção de obras de fundações. In: FALCONI, Frederico Fernando *et al.* **Fundações: teoria e prática** 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2019. 215 p. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/degustacao/fundacoes-teoria-e-pratica_deg.pdf>. Acesso em: 24 set. 2021.

FELIPE, José Maick Moreira, ARAUJO JUNIOR, José Luiz de Araujo. Estudo dos tipos de fundações: Sapatas. In: Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. **Anais**. Mineiros: UNIFIMES, 2018. p.1-11. Disponível em: <file:///C:/Users/BRASPIRES/Downloads/admin,+EC12%20(9).pdf>. Acesso em: 05 set. 2021.

GUIMARÃES, Diego; PETER, Eduardo Alcides. **Fundações**. 222 p. Porto Alegre: Sagah, 2018. Minha Biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023536/>>. Acesso em: 05 out. 2021.

MORAIS, Thaise da Silva Oliveira. **Interpretação racional de resultados de ensaios SPT com base em conceitos de energia**. 2014. 210 f. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-29022016-111249/publico/dissertacaothaise.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MORGENTAL, Marcos Sonogo. **Análise comparativa de perfis de sondagem SPT com caracterização dos solos em ensaios laboratoriais**. 2017. 89 f. Monografia (Especialização em Ensaio de caracterização dos solos). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: <http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2017/TCC_MARCOS%20SONEGO%20MORGENTAL.compressed.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MOURA, Ana Paula. **Fundações e obras de terra: Recalques**. Notas de aula. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia. Unaf, 2016. 57 p. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/08/AULA04-RECALQUES.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2021.

MURRIETA, Pedro. **Mecânica dos Solos**. 367 p. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595156074/>>. Acesso em: 30 set. 2021.

ODEBRECHT, Edgar. **Medidas de energia no ensaio SPT**. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Doutorado em Engenharia Civil). 2003. 232 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5840/000432285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A3GCW/1/monografia_esp_2012_1_th.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

PACHECO, Diana Carolina Cárdenas. **Análise numérica da interação de estruturas subterrâneas em solos moles em processo de adensamento. Estudo de caso: Usina de bombeamento “casa colorada”**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Faculdade de Tecnologia departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/31069>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

PEREIRA, Luisa Barbosa. **Estudo comparativo entre a eficiência de sondagens SPT e sísmica rasa para determinação de parâmetros geotécnicos em uma área do município de Caçapava do Sul, RS**. 2015. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Geologia). 71f. Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, 2015. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/jspui/bitstream/riu/1319/1/Estudo%20comparativo%20entre%20a%20efici%3%aancia%20de%20sondagens%20SPT%20e%20s%3%adsmica%20rasa%20para%20determina%3%a7%3%a3o%20de%20par%3%a2metros%20geot%3%a9cnicos%20em%20uma%20%3%a1rea%20do%20munic%3%adpio%20de%20Ca%3%a7apava%20do%20Sul%2c%20RS.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

PIMENTEL, Matheus Lima; ROSA, Walber Luiz Oliveira; ASSIS, Rita de Cássia Teixeira. **Fundações rasas: tipos e utilização**. Notas de aulas. Univertix Três Rios, p.1-9, 2019. Disponível em: < <https://favetr.univertix.net/wp-content/uploads/2020/01/A48-FUNDA%3%87%3%95ES-RASAS-TIPOS-E-UTILIZA%3%87%3%83O-CORRIGIDO..pdf> >. Acesso em: 17 nov. 2021.

PINA, Gregório Lobo de. **Patologia nas habitações populares**. 2013. 102 f. Projeto de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: < <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006577.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

PIRES, Rafael Alves. **Estudo comparativo de fundações profundas: estaca hélice contínua x estaca tipo strauss**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil). 2018, 36 f. Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério. Monte Carmelo. 2018. Disponível em: <<http://repositorio.fucamp.com.br/bitstream/FUCAMP/433/1/Estudocomparativofundacoes.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

PRUDÊNCIO, Tiago. **Análise de viabilidade econômica de diferentes tipos de fundação em casas populares**. Monografia (Especialização em Construção Civil). 2011. 57 f.

Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/898/1/Tiago%20Prud%c3%aancio.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

QUEIROZ, Rudney da Conceição. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. 147 p. São Paulo: Edgard Blucher, 2016. Minha biblioteca. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521209584/>>. Acesso em: 24 set. 2021.

SOUZA, Rafael Alves; REIS, Jeselay Hemetério Cordeiro dos. Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 161-171, 2008. Disponível em: <<http://www.engracon.com.br/artigos/11327606759.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

ZANZARINI, José Carlos. **Análise das causas e recuperação de fissuras em edificação residencial em alvenaria estrutural - estudo de caso**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil). 2016. 83 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6879/1/CM_COECI_2016_1_15.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

ZORZAN, Lucas Ghion. *et al.* **Propriedades e índices físicos do solo**. 50 f. GEGEO UFPR. Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2019. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2020/01/APOSTILA-PROPRIEDADES-E-%C3%8DNDICES-F%C3%8DSICOS-DE-SOLOS.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2021.