

GEOTECNIA E SUAS APLICAÇÕES

AZEVEDO, Fernanda Freitas de Oliveira¹

RODRIGUES, Felipe Nascimento¹

SANTOS, Marcos Gustavo Henrique¹

OLIVEIRA FILHO, Wilson Alves de¹

RESUMO

O presente trabalho se desenvolveu com o objetivo de pesquisar e apresentar um dos ramos da engenharia civil que é a geotécnica, bem como sua atuação. Para isso passou-se a apresentar os conceitos e atribuições da Geotecnia; analisar a importância dos estudos do solo e suas propriedades para a Geotecnia; investigar a interferência da mecânica do solo como aplicação da Geotecnia e por fim, analisou-se as fundações e sua importância para a Engenharia Civil. Para isso, este artigo se fez a partir de uma pesquisa qualitativa de característica bibliográfica, baseada em estudos recentes sobre a Geotecnia e sua aplicação. O que permitiu considerar que existem outros riscos geológicos que não proporcionam desastre imediato mas podem provocar prejuízos substanciais à sociedade como sejam a contaminação de solos e águas, a erosão costeira ou a escassez de recursos não renováveis e tudo isso influencia no modelo do solo, daí a importância da geotécnica que permite estudar as possibilidades de uso desse solo, nas mais diversas áreas.

Palavras Chave: Geotecnia, Fundações, Aplicação, Engenharia Civil.

SUMMARY

The present work was developed with the objective of researching and presenting one of the branches of civil engineering that is geotechnical, as well as its performance. For that, the concepts and attributions of Geotechnics were presented; Analyze the importance of soil studies and their properties for Geotechnics; To investigate the interference of soil mechanics as an application of Geotechnics and, finally, the foundations and their importance for Civil Engineering were analyzed. For this, this article was made from a qualitative research of bibliographic characteristic, based on recent studies sore to Geotechnics and its application. This has allowed us to consider that there are other geological risks that do not provide immediate disaster but can cause substantial losses to society such as soil and water contamination, coastal erosion or scarcity of nonrenewable resources and all this influence on the soil model, hence The importance of the geotechnics that allows to study the possibilities of use of this soil, in the most diverse areas.

Keywords: Geotechnics, Foundations, Application, Civil Engineering.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho se desenvolveu com o objetivo de pesquisar e apresentar um dos ramos da engenharia civil que é a geotécnica, bem como sua atuação.

Considera-se, pois, que a geotécnica seja uma disciplina relativamente nova, apesar de sua fundamental importância para a construção civil. Nascimento (1990) considera o início da publicação da revista “Geotechnique” em Londres, em 1948, como o reconhecimento formal da autonomia deste ramo face à Engenharia Civil.

¹ Acadêmicos do Curso de Engenharia Civil pela Faculdade ISEIB/PROMINAS em Montes Claros, MG, pesquisa desenvolvida em marco de 2017.

A Geotecnia é o ramo da Engenharia que agrupa as disciplinas científicas que se ocupam da caracterização e comportamento dos terrenos: a Geologia de Engenharia, a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas. Contudo, vale lembrar que existem autores como Costa (2007) que compreende que o ramo da Geotecnia é independente da engenharia civil, tendo em vista que uma se fundamenta mais na estrutura, enquanto a primeira está diretamente ligado ao estudo dos terrenos e fundações.

Contudo, é evidente que ambas se completam e são muito necessárias hoje para manter a qualidade das construções, garantir as condições básicas para uma expansão urbana viável e principalmente, para garantir a segurança de uma população.

Para melhor compreender o que é a Geotecnia, bem como suas atribuições é que se desenvolveu esse trabalho dividido em quatro principais tópicos: a Geotecnia: conceito e atribuições; os estudos do solo e suas propriedades para a Geotecnia; a mecânica do solo como aplicação da Geotecnia e por fim as fundações e sua importância para a engenharia civil.

GEOTECNIA: CONCEITO E ATRIBUIÇÕES

De acordo com a Geotecnia Wikipedia (2017) Geotecnia é “a aplicação de métodos científicos e princípios de engenharia para a aquisição, interpretação e uso do conhecimento do solo”. É por meio dessa disciplina que se desenvolvem estudos de meios para a solução de problemas de engenharia”. Sua prática permite “prever o comportamento da Terra e seus diversos materiais, no sentido de tornar a Terra mais habitável para as atividades humanas”.

Costa (2007) completa este conceito dizendo que a Geotecnia é “o ramo da Engenharia que agrupa as disciplinas científicas que se ocupam da caracterização e comportamento dos terrenos”. Cujo estudo se divide em três áreas:

- à Geologia de Engenharia explicar a gênese dos terrenos, fazer a sua descrição qualitativa e a sua caracterização quantitativa (tanto quanto possível), tendo em conta os problemas de engenharia a resolver e os impactos ambientais por eles criados.
- à Mecânica dos Solos e à Mecânica das Rochas as tarefas de análise da estabilidade dos terrenos (respectivamente, terrosos para a primeira e rochosos para a segunda) e o projecto de estruturas que impeçam a sua instabilização ou garantam a sua estabilidade face às solicitações previsíveis. (OLIVEIRA, 1986 *apud* COSTA, 2007)

Sendo assim, a geotécnica é utilizada para efetuar a previsão, a prevenção ou mitigação de danos causados por desastres naturais (como avalanches, fluxos de lama, deslizamentos de terra, deslizamento de rochas, sumidouros e erupções vulcânicas);

construção de barragens; fundação de pontes, edifícios e outras estruturas em solo subjacente e/ou rocha; e controle de enchentes e previsão (WIKIPEDIA, 2017). Ou seja, estuda as características do solo e das rochas, a fim de usar desses meios para executar projetos de construção.

A rápida expansão da Geotecnia é consequência da crescente complexidade das realizações humanas e dos importantes problemas postos por diversos ramos da engenharia e da tecnologia, especialmente a partir da segunda metade do século XX. Com o desenvolvimento das grandes concentrações urbanas os edifícios tornaram-se cada vez mais altos e, simultaneamente, os locais mais apropriados cada vez mais escassos. Mas nem por isso as construções deixaram de ser feitas (COSTA, 2007)

Para trabalhar com grandes obras envolvendo geotécnica o engenheiro deve ser especializado na área, ou seja, possuir no mínimo uma pós graduação em geotecnia, apenas aceita-se realizar trabalhos em Geotecnia sem pós construções tenham baixa complexidade.

Lacerda (2015) descreveu os 6 principais trabalhos realizados pelo engenheiro geotécnico:

1 – Escavações ou perfurações, corte, aterro, etc, que trabalham com o movimento da terra e que necessitam ser efetuados com total segurança e eficácia. A função aqui é planificar o terreno e preparar as aberturas necessárias para receber as fundações e instalações de edificações em geral, ou ainda abrir tuneis. Neste ultimo caso é o tipo de obra mais perigosa, pois são realizados sob grandes massas de solo/rocha, submetidas muitas vezes a elevadas cargas (como exemplo, a escavação de um túnel para a implantação de uma rede de metrô sob uma grande cidade) (BATISTA JR E LACERDA, 2015).



Espalhamento de material para aterro



Perfuração de solo para concretagem de estaca



Escavação para construção de túnel

Figura 1 – Modelos de escavações e perfurações

2 – Investigação e Análise Geotécnica: aplica a sondagem para identificar as camadas do solo, determinam suas propriedades mecânicas de resistência e/ou deformidade, estuda a hidrologia subterrânea e estabelece as camadas seguras para execução do serviço e ainda projetar as fundações (BATISTA JR E LACERDA, 2015)..



Equipe realizando ensaio SPT

Solo em corte, revelando 4 camadas distintas

Coleta de amostra de solo indeformada.

Figura 2 – Modelos de Investigação e Análise Geotécnica

Em alguns casos, através da análise pode-se constatar que o solo precisará receber um tratamento preliminar antes de iniciar a construção propriamente dita. É o caso de solos não adensados, solos moles e orgânicos, solos colapsíveis e solos expansíveis, entre outros (BATISTA JR E LACERDA, 2015)..



Encosta de risco, devido à ocupação inapropriada.

Taludes com grama para proteção superficial.

Contenção de solo com o método das estacas secantes.

Figuras 3 – Modelos de Taludes e Contenções

Esse problema é muito comum na ocupação de maneira inapropriada, devido ao crescimento urbano desordenado. E a estabilização é feita a partir de tratamento superficial do material, construção de elementos de drenagem e posteriormente uma solução com muros de contenção ou taludes naturais de terra (BATISTA JR E LACERDA, 2015)..

4 – Barragens e Obras Hídricas: toda a infraestrutura da construção de uma barragem é baseada em escavações e movimentação de terra, e o mais agravante ocorre quando é necessário desviar o curso d'água, necessitando maquinário capaz de enfrentar corte e aterro de solos saturados. Ou ainda na construção de canais com ou sem revestimento (BATISTA JR E LACERDA, 2015)..



Barragem de terra.



Canal com revestimento de concreto.



Barragem de Concreto.

Figuras 4 – Modelo de Barragens e Obras Hídricas

5 – Vias e Estradas: cabe ao engenheiro geotécnico garantir a estabilidade da formação, tomando providências para impedir deslizamentos de terra durante e após a construção da via e avalia a necessidade de instalação do *grade* da rodovia, em especial, nos casos em que a rodovia passa por serras, chapadas, ou qualquer outra formação em aclave/declive (BATISTA JR E LACERDA, 2015).



Construção de Estrada em terreno acidentado.



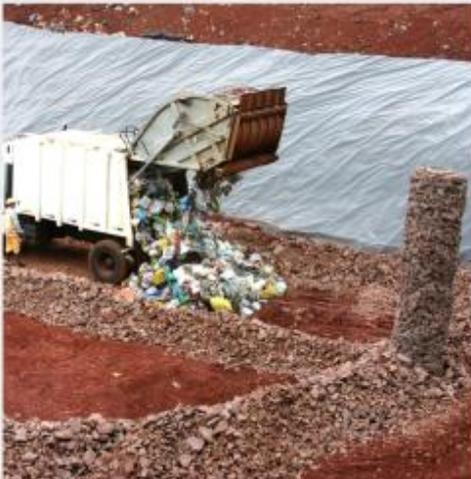
Estrada construída em região de alto aclave / declive



Motoniveladora realizando o serviço de espalhamento do material de base para estrada..

Figuras 5 –Geotecnia usada para construção de Vias e estradas

6 – Geotecnia Ambiental: tem a atribuição de investigar o nível de contaminação de solos, construção da infraestrutura de aterros sanitários e elaboração de projetos de tratamento dos terrenos – trabalho importante em tempos de expansão das fronteiras imobiliárias na direção de antigas regiões industriais de grandes centros urbanos (BATISTA JR E LACERDA, 2015).



Aterro Sanitário.



Terreno com presença de resíduos sólidos.



Área com contaminação por combustíveis.

Figuras 6 –Geotecnia Ambiental

OS ESTUDOS DO SOLO E SUAS PROPRIEDADES NA GEOTECNIA

Solo é todo material da crosta terrestre escavável por meio de pá, picareta, escavadeira, etc. contudo, o conceito de solo para a engenharia civil é bem mais amplo. Considera-se solo o material que tem “a finalidade de absorver as cargas aplicadas em sua superfície, deve também interagir com as obras implantadas em seu interior” (UNICAMP, 2017).

Silva (2009, p. 2), estabelece ainda, que “solo é um sistema dinâmico e complexo. Constitui o substrato que abriga diversas formas de vida, ocasionadas por um processo gradual de evolução que acompanha as transformações geoambientais”

O solo se compõe, por sua vez, pela porção externa e superficial da crosta terrestre é formada por vários tipos de corpos rochosos que constituem o manto rochoso (GURGEL, 2017). Por meio do intemperismo estas rochas estão sujeitas a condições que alteram a sua forma física e sua composição química (SILVA, 2009, p. 4).

O intemperismo se estabelece, por duas fases que podem ocorrer individual ou concomitantemente:

- intemperismo físico – que é a desintegração da rocha, através de agentes como água, temperatura, pressão, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e as areias e até mesmo os siltes e ocorre quando há ruptura das rochas inicialmente em fendas, progredindo para partículas de tamanhos menores, sem, no entanto, haver mudança na sua composição;

- intemperismo químico – que é a decomposição da rocha que é o processo onde há modificação mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água, e os mais importantes mecanismos modificadores são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos resultantes do apodrecimento de vegetais e animais (GURGEL, 2017).

Formação dos solos

Considerando as condições que o intemperismo impõe na formação do solo, pode-se dizer que cada rocha e cada maciço rochoso se decompõem de uma formação própria. E disso surge o solo, que se forma a partir das misturas complexas de materiais inorgânicos e resíduos orgânicos parcialmente decompostos. Daí a variedade do solo, pois, sua composição vai depender do intemperismo sofrido quantitativa e qualitativamente. Sendo que os fatores mais importantes na formação do solo são: - ação de organismos vivos; - rocha de origem; - tempo

(estágio de desintegração/decomposição); - clima adequado; - inclinação do terreno ou condições topográficas (GURGEL, 2017).

O intemperismo acontece quando expõe as rochas às seguintes ações: clima, relevo, flora e fauna e rocha (SILVA, 2009, p.4). Diz-se assim que cinco são os fatores de formação dos solos que motivam direta ou indiretamente as manifestações mais ou menos agressivas daqueles fenômenos: relevo, clima, organismos, tempo e material de origem (SILVA, 2009). Ou seja, além dos meios comuns este autor ainda identifica outros dois fatores influenciam indiretamente na formação do solo: o tempo, e o material de origem que depende da classificação genética da rocha.

Ainda deve-se falar das características do solo, pois, os diferentes tipos de solos são condicionados, em geral, pelas suas características e propriedades, dentre as quais Andreoli *et al*, (2014, p. 215-216) citam:

- Cor – sendo que normalmente os solos com cores avermelhadas indicam uma formação em regime climático mais seco; já as cores amareladas indicam que esta formação ocorreu num regime mais úmido que o anterior; e solos com cores pálidas ou acinzentadas indicam saturação por água (hidromorfismo) que também pode ser caracterizada por mosqueados (pigmentações) vermelhas e amarelas ao longo do perfil.

- Hidromorfismo – Refere-se à superficialidade do lençol freático, indicando que o solo está permanentemente ou sazonalmente saturado por água. Valendo considerar que solos com esta característica são mais frágeis.

- pH – Potencial Hidrogênio, indica a acidez dos solos, tem relação direta com a fertilidade, e conseqüentemente com a produção agrícola.

- Textura – Refere-se à proporção dos particulados do solo determinados de acordo com suas dimensões (granulometria): areia (mais grosseira), silte (intermediário) e argila (mais fina) e influencia diretamente na velocidade de infiltração e na capacidade de retenção de água no solo, em decorrência da porosidade.

- Atividade Química – Definida pela Capacidade de Troca de Cátions (CTC), que tem papel importante na retenção de substâncias contaminantes, ou ainda de nutrientes.

- Material mineral x material orgânico – sendo que a fração orgânica se concentra nas camadas superficiais do solo em decorrência da decomposição da vegetação em sua superfície, enquanto nas camadas mais profundas, onde o solo está em processo de formação (intemperização da rocha), esta fração é reduzida.

As características citadas acima são apenas algumas de muitas outras, porém, dentre todas, essas são as mais comuns e diretamente relacionadas aos aspectos de uso e ocupação do

solo. Além disso, todas elas se relacionam entre si, uma influenciando e sendo influenciada por outras.

Classificação dos solos

Uma das principais classificações do solo é a genética, em que as rochas são agrupadas de acordo com o seu modo de formação na Natureza. Sob este aspecto, as rochas dividem-se em três grandes grupos: ígneas ou magmáticas; sedimentares; metamórficas (SILVA, 2009).

No entanto, Gurgel (2017) classifica os solos em três grupos principais: residuais, sedimentares e orgânicos. Solos residuais são os que permanecem no local da rocha de origem (rocha mãe), observando-se uma gradual transição da superfície até a rocha. Para que ocorram os solos residuais, é necessário que a velocidade de decomposição de rocha seja maior que a velocidade de remoção pelos agentes externos. Estando os solos residuais apresentados em horizontes (camadas) com graus de intemperismos decrescentes, podem-se identificar as seguintes camadas: solo residual maduro, saprolito e a rocha alterada (GURGEL, 2017).

Solos sedimentares ou transportados são os que sofrem a ação de agentes transportadores, podendo ser aluvionares (quando transportados pela água), eólicos (vento), coluvionares (gravidade) e glaciares (geleiras) (GURGEL, 2017).

Solos orgânicos que são originados da decomposição e posterior apodrecimento de matérias orgânicas, sejam estas de natureza vegetal (plantas, raízes) ou animal. Os solos orgânicos são problemáticos para construção por serem muito compressíveis. Em algumas formações de solos orgânicos ocorre uma importante concentração de folhas e caules em processo de decomposição, formando as turfas (matéria orgânica combustível) (GURGEL, 2017).

Segundo Embrapa (2009), os solos quando examinados a partir da superfície consistem de seções aproximadamente paralelas – denominadas horizontes ou camadas – que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria.

A FSP (Faculdade de São Paulo, 2013) esboça como se dá a utilização do solo na engenharia civil, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 1 – Utilização do solo na Engenharia Civil

CONDIÇÃO NATURAL	FUNDAÇÃO	ESTRUTURA	EDIFÍCIOS, PONTES , VIADUTOS
		PAVIMENTO	PISO INDUSTRIAL, PÁTIO, ESTRADA, AEROPORTO
		ESTRUTURA ENTERRADA	CASA DE FORÇA, TUBULAÇÕES, GALERIAS
		ATERRO	BARRAGEM, ESTRADA, INDUSTRIAL
	SOLO ESTRUTURAL	CORTE	ESTRADA, MINERAÇÃO
		VALA	FUNDAÇÃO, GALERIA
MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	ATERRO		BARRAGEM DE USOS MÚLTIPLOS
	BASES E SUB-BASES		ESTRADAS, PÁTIOS

Fonte: FSP (2013)

Sendo assim, considera-se que para a Engenharia Civil as características de formação do solo permitem, normalmente, separá-lo em duas camadas, denominadas horizontes: o primeiro, mais profundo, conhecido como horizonte genético ou horizonte B; o segundo, mais suscetível aos agentes intemperizantes, e também com maior quantidade material orgânico, uma vez que está na superfície do solo, denominado de horizonte A. Algumas vezes, dependendo de seu processo de formação, esses horizontes podem estar ausentes, bem como pode haver a formação de novos horizontes, com menor ocorrência (ANDREOLI et al. 2014. p. 513).

Além disso, Silva *et al.*(2009) classifica o solo quanto sua forma física, considerando que o solo é constituído de uma fase fluida (água e/ou gases) e de uma fase sólida, ou seja, “o solo é um conjunto de partículas sólidas que deixam espaços vazios entre si, sendo que estes vazios podem estar preenchidos com água, com gases (normalmente o ar), ou com ambos”.

As partículas sólidas dão características e propriedades ao solo conforme sua forma, tamanho e textura e se formam, como já citado anteriormente, por partículas: a) poligonais angulares (areias, siltes e pedregulhos). b) poligonais arredondadas (seixo rolado). c) lamelares (típicas de solos argilosos). e d) Fibrilares possuem uma dimensão predominante (típicas de solos orgânicos).

Existe ainda a classificação da água contida no solo que se divide em:

- a) água higroscópica a que se encontra em um solo úmido ou seco ao ar livre, na região acima do lençol freático e é totalmente eliminada quando submetida a temperaturas acima de 100°C.
- b) água adesiva, é aquela película de água que envolve e adere fortemente às partículas de solos muito finos (argila), devido a ação de forças elétricas desbalanceadas na superfície dos argilominerais sólida.
- c) água de constituição é a que faz parte da estrutura molecular da partícula sólida.

d) água capilar é a que, nos solos finos, sobe pelos vazios entre as partículas, até pontos acima do lençol freático (ascensão capilar). Pode ser totalmente eliminada quando submetida a temperaturas acima de 100°C.

e) água livre é aquela formada pelo excesso de água no solo, abaixo do lençol freático, e que preenche todos os vazios entre as partículas sólidas. Pode ser totalmente eliminada quando submetida a temperaturas acima de 100°C (GURGEL, 2017).

E existe ainda a intervenção dos gases na classificação do solo, posto que dependendo do tipo de solo e das suas propriedades (principalmente porosidade), pode-se ter os vazios preenchidos com ar. Exemplo disso é observado em algumas regiões pantanosas (EUA), onde se pode ter gases (alguns tóxicos) preenchendo estes vazios (GURGEL, 2017).

METODOLOGIA

Este artigo se fez a partir de uma pesquisa qualitativa de característica bibliográfica, baseada em estudos recentes sobre a Geotecnia e sua aplicação. Para tanto foram pesquisados diversos anais, artigos que pudessem servir de base para este estudo, foram apresentados ainda imagens de obras que estão acontecendo na cidade de Montes Claros, como base exemplificativa dos tipos de fundações possíveis a partir da Geotecnia.

A MECÂNICA DO SOLO COMO APLICAÇÃO DA GEOTECNIA

A Geologia de Engenharia, na sua visão mais tradicional, ocupa-se da investigação da adequabilidade e características dos sítios, na medida em que eles afetem o projeto e construção dos trabalhos de engenharia civil e a segurança das construções vizinhas (Mc Lean & Gribble, 1992 *apud* COSTA, 2007).

A Mecânica dos Solos é um dos ramos mais recentes desse ramo da Engenharia Civil, trabalha com uma matéria prima bastante heterogênea e com propriedades complexas, sendo extrema dificuldade a modelação matemática ou ensaio de modelo que caracterize satisfatoriamente o seu comportamento.

Considera-se como um dos principais responsáveis pelo nascimento e desenvolvimento da mecânica dos solos o austríaco Karl Terzaghi (1883-1963) quando, por ocasião do Primeiro Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Fundações, realizado em 1936, apresentou este termo. Soil Mechanics (*apud* COSTA, 2007), define a Mecânica dos Solos a partir do conceito de Terzaghi a Mecânica dos Solos é

a aplicação das leis da mecânica e da hidráulica aos problemas de engenharia relacionados com os sedimentos e outros depósitos não consolidados de partículas sólidas produzidas pela desintegração mecânica ou química das rochas.

Ou seja, o objetivo da Mecânica dos Solos é substituir, por métodos científicos, os métodos empíricos de projeto, aplicados, no passado, na engenharia de fundações e obras de terra.

Física do solo

Como oportunamente sublinha Goodman (1993 *apud* COSTA, 2007) o projeto e construção em engenharia civil desenvolve-se por fases, à medida que a informação técnica e científica é obtida, e a geologia de engenharia vai adquirindo diferentes responsabilidades em cada uma dessas fases.

Segundo o *British Standard Code of Practice for site investigations* (BS 5930: 1981 *apud* COSTA, 2007) este trabalho envolve os seguintes procedimentos: investigação preliminar (análise dos dados disponíveis); Reconhecimento geológico detalhado de superfície, incluindo estudo fotogeológico; Prospecção geofísica (obtenção de *soft* data do subsolo); Prospecção mecânica, incluindo sondagens (obtenção de *hard* data do subsolo); Ensaio de campo e laboratório para determinação das propriedades mecânicas dos solos e rochas (esta última fase em colaboração com a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas).

Sendo assim considera-se que a mecânica do solo, se diferencia em alguns pontos da mecânica da rocha, posto que esta última debruça-se sobre o conhecimento dos maciços rochosos (Rocha, 1981 *apud* COSTA, 2007) em termos de: Deformabilidade, isto é, das relações entre forças (ou tensões) e deformações; Resistência, isto é das condições que determinam a sua rotura; Estado de tensão inicial a que se encontra submetido; Dos estados de tensão que se desenvolvem em virtude das tensões aplicadas, incluindo as devidas à percolação da água subterrânea.

Por sua vez a Mecânica dos Solos trata dos problemas (Mineiro, 1981 *apud* COSTA, 2007): de equilíbrio dos maciços terrosos sob a ação de solicitações exteriores (como seja a capacidade de carga de fundações superficiais e profundas); de resistência ao corte dos solos submetidos a esforços tangenciais; de escoamento em meios porosos, da consolidação e compressibilidade dos solos; de impulsos de terras sobre suportes (rígidos ou flexíveis, como sejam as cortinas ancoradas ou revestimentos de túneis); do cálculo de estabilidade de taludes

naturais e de aterro; do comportamento dos solos sob solicitações dinâmicas (sísmicas); do melhoramento de terrenos através de numerosas técnicas (injeção, pré-carga, compactação dinâmica, vibroflutuação, etc...). (COSTA, 2007)

Ainda, segundo Budzinski (2011) o engenheiro dos solos deve ter sempre em mente as dificuldades encontradas quando se trabalha com o solo, são elas: o solo não possui comportamento tensão - deformação linear ou único; o comportamento de um solo depende em solicitação, tempo de aplicação e meio ambiente; o solo é diferente para cada local; o solo a ser pesquisado geralmente não está situado na superfície e sim em horizontes profundos, necessitando ser retirado em pequenas amostras para seu estudo em laboratório; muitos solos são sensíveis a perturbações na amostragem e não reproduzem, em laboratório, suas características reais.

Deve-se ainda considerar a possibilidade de todos esses fatores se juntarem, o que acontece frequentemente, tornando o problema de solos de difícil solução.

A mecânica do solo permite ainda calcular dentre outras coisas a compactação do solo, a granulometria de um solo que é a distribuição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos. Para se proceder a uma análise granulométrica de um solo, faz-se necessário fazer com que os componentes deste atravessem peneiras, as quais são dispostas ordenadamente, superpondo-as na ordem de série, sempre iniciando com a de maior abertura de malha. A análise granulométrica consiste, em geral, em duas fases distintas: peneiramento e sedimentação. E a plasticidade e consistência dos solos: que é a propriedade que os solos têm de serem moldados, sob certas condições de umidade, sem variação de volume e sem ruptura. Nas argilas, esta é a propriedade mais importante. Já a elasticidade, é a propriedade que os corpos têm, de, ao serem deformados, voltarem ao seu estado inicial. E um dos ramos mais utilizados e exigidos esta diretamente ligado às funções.

AS FUNDAÇÕES E SUA IMPORTÂNCIA PARA A ENGENHARIA CIVIL.

A fundação é a estrutura responsável por absorver todas as cargas emitidas pela edificação e distribuí-las ao solo. O sistema de fundações é formado pelo elemento estrutural do edifício que fica abaixo do solo, constituído por bloco, estaca ou tubulão. Sua função é suportar com segurança as cargas provenientes do edifício. Convencionalmente o projetista estrutural repassa ao projetista de fundação as cargas que serão transmitidas aos elementos de fundação. Confrontando essas informações com as características do solo onde será a edificação, o projetista tem que calcular o deslocamento desses elementos e comparar com os

recalques admissíveis. Por isso primeiro se elabora o projeto estrutural e posteriormente o de fundação (BARROS, 2011).

Para que qualquer obra permaneça no lugar, sem rupturas e sem sofrer instabilidade é preciso de um alicerce. E esse é basicamente, o papel das fundações: estruturas responsáveis por transmitir as cargas das construções ao solo e, por isso, devem ter resistência adequada para suportar todas as tensões. E para que essa estrutura realmente seja eficaz, o solo precisa ter resistência e rigidez adequadas para não sofrer rupturas ou deformações que comprometam a construção (MAPADAOBRA, 2017).

Assim, para escolher o tipo de fundação é preciso saber quais serão os esforços sobre a edificação, as características do solo e dos elementos que formam as fundações. Basicamente há dois tipos: fundações superficiais (rasas ou diretas) e fundações profundas, definidas pela ABNT NBR 6122/2010.

ABNT NBR 6122/2010.

A NBR 6122/2010 fixa as condições básicas a serem observadas no projeto e execução de fundações de edifícios, pontes e demais estruturas. e para isso precisa fundamenta-se ainda em outras normas complementares como

- Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho
- NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado - Procedimento
- NBR 6484 - Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos - Método de ensaio - Procedimento
- NBR 6489 - Prova de carga direta sobre terreno de fundação - Procedimento
- NBR 6502 - Rochas e solos – Terminologia
- NBR 7190 - Cálculo e execução de estruturas de madeira - Procedimento
- NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento
- NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios - Procedimento
- NBR 9061 - Segurança de escavação a céu aberto - Procedimento
- NBR 9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado - Procedimento
- NBR 9603 - Sondagem a trado - Procedimento
- NBR 9604 - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostra deformada e indeformada - Procedimento
- NBR 9820 - Coleta de amostras indeformadas de solos em furos de sondagens – Procedimento
- NBR 10905 - Solo - Ensaio de palheta *in situ* – Método de ensaio
- NBR 12069 - Solo - Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT) - Método de ensaio
- NBR 12131 - Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio
- NBR 13208 - Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico - Método de ensaio

A NBR 6122/2010 determina ainda o número de furos de sondagens em terrenos:

Área Furos

1200 m² a cada 200 m².

1200 m² e 2400 m² a cada 400 m²

2400 m² estudo específico

Mínimo de dois furos para áreas menores do que 200 m²

Mínimo de três furos para áreas entre 200 e 400 m².

A NBR 6122/2010 estabelece os fatores de segurança globais mínimos:

Capacidade de carga de fundações superficiais 3,0

Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga 2,0

Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga 1,6

E para isso determinas as seguintes disposições construtivas:

Em planta, as sapatas ou os blocos não devem ter dimensão inferior a 60 cm.

A base de uma fundação deve ser assente a uma profundidade tal que garanta que o solo de apoio não seja influenciado pelos agentes atmosféricos e fluxos d'água. Nas divisas com terrenos vizinhos, salvo quando a fundação for assente sobre rocha, tal profundidade deve ser superior a 1,5 m.

Em fundações que não se apoiam sobre rocha, deve-se executar anteriormente à sua execução uma camada de concreto simples de regularização de no mínimo 5 cm de espessura (lastro), ocupando toda a área da cava da fundação.

No que se refere a classificação do solo a NBR 6122/2010 utiliza da teoria de Classificação de Atterberg e estabelece

Pedregulho: 76 - 4.8 mm.

Areia: 4.8 - 0.05 mm.

Silte: 0.05 - 0.005 mm.

Argila: < 0.005 mm

Fundações rasas e média ou Fundações superficiais

Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação. A profundidade de escavação é inferior a 3 metros e são utilizadas em cargas leves, como residências, ou no caso de solo firme. Incluem-se neste tipo de fundação: sapatas (corrida ou associada), bloco, radier e viga de fundação.

Segue abaixo um exemplo de bloco de fundação

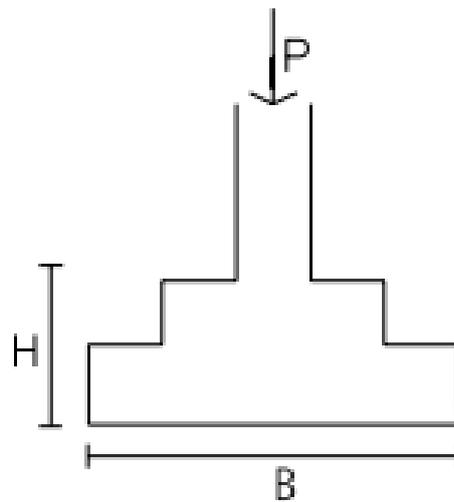


Figura 8 – Bloco escalonado.

Blocos de fundação → Assumem a forma de bloco escalonado, ou pedestal, ou de um tronco de cone. Alturas relativamente grandes e resistem principalmente por compressão.

A Sapata de fundação pode ser isoladas ou associadas e são elementos de apoio de concreto, de menor altura que os blocos, que resistem principalmente por flexão.

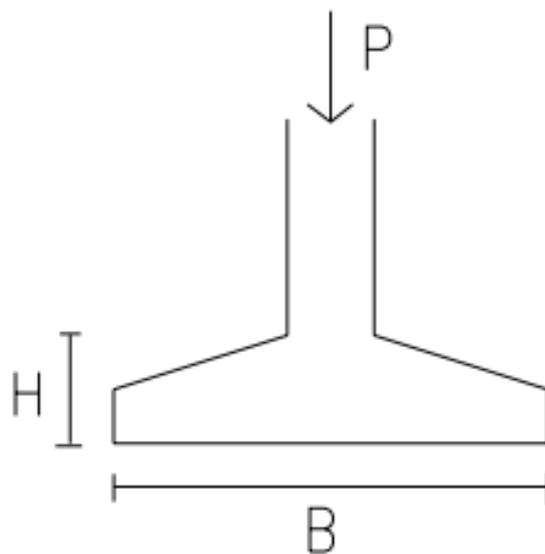


Figura 9 – Sapata isolada.

Sapatas podem ser: - circulares - ($B = \varnothing$) - quadradas - ($L = B$) - retangulares - ($L > B$) e ($L \leq 3B$ ou $L \leq 5B$) - corridas - ($L > 3B$ ou $L > 5B$)

O Radier é um modelo de fundação usado quando todos pilares de uma estrutura transmitirem as cargas ao solo através de uma única sapata. Este tipo de fundação envolve

grande volume de concreto, é relativamente onerosa e de difícil execução. Quando a área das sapatas ocuparem cerca de 70 % da área coberta pela construção ou quando se deseja reduzir ao máximo os recalques diferenciais.

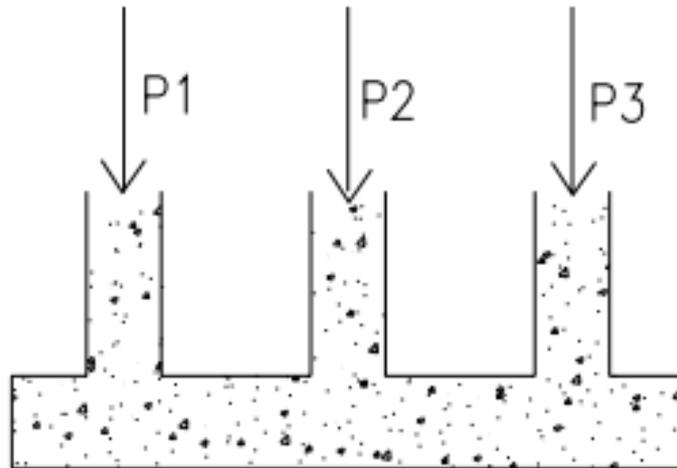


Figura 10 – Radier. (FABRICIO E ROSIGNOLO, 2017)

Para calcular a capacidade de carga de um solo, considera-se a pressão σ_r , é que, aplicada ao solo através de uma fundação direta, causa a sua ruptura. Alcançada essa pressão, a ruptura é caracterizada por recalques incessantes, sem que haja aumento da pressão aplicada. A pressão admissível σ_{adm} de um solo, é obtida dividindo-se a capacidade de carga σ_r por um coeficiente de segurança, η , adequado a cada caso.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{\eta}$$

A determinação da tensão admissível dos solos é feita através das seguintes formas: Pelo cálculo da capacidade de carga, através de fórmula teóricas; Pela execução de provas de carga; Pela adoção de taxas advindas da experiência acumulada em cada tipo de região razoavelmente homogênea.

Os coeficientes de segurança em relação à ruptura, no caso de fundações rasas, situam-se geralmente entre 3 (exigidos em casos de cálculos e estimativas) e 2 (em casos de disponibilidade de provas de carga). Portanto, no geral: $\eta \geq 2 \rightarrow$ provas de carga e $\eta \leq 3 \rightarrow$ fórmula teóricas.

A capacidade de carga dos solos varia em função dos seguintes parâmetros: do tipo e do estado do solo (areias e argilas nos vários estados de compactidade e consistência); da dimensão e da forma da sapata (sapatas corridas, retangulares, quadradas ou circulares); da profundidade da fundação (sapata rasa ou profunda).

Existem várias fórmulas para o cálculo da capacidade de carga dos solos, todas elas aproximadas, porém de grande utilidade para o engenheiro de fundações, e conduzindo a resultados satisfatórios para o uso geral. Para a utilização dessas fórmulas, é necessário o conhecimento adequado da resistência ao cisalhamento do solo em estudo.

Fundações profundas

São elementos que transmitem a carga ao terreno pela base, pela superfície lateral ou por uma combinação das duas. São utilizadas em casos de grandes projetos, como edifícios altos, nos quais os esforços do vento se tornam consideráveis e nos casos em que o solo só atinge a resistência suficiente em grandes profundidades, superior a 3 metros – salvo exceções. Os tipos mais comuns são as estacas, tubulões e caixões.

As estacas utilizam elementos bem mais esbeltos que os tubulões, caracterizados pelo grande comprimento e pequena seção transversal. São implantados no terreno por equipamento situado à superfície. São em geral utilizados em grupo, solidarizadas por um bloco rígido de concreto armado (bloco de carreamento).

$$P \leq RL + RP$$

onde RL = Resistência Lateral e

RP = Resistência de Ponta Estacas quanto ao carregamento: Ponta, Atrito, Ação Mista, Estacas de Compactação, Estacas de Tração e Estacas de Ancoragem

Segue abaixo um exemplo que estaca escavada mecanicamente (S / LAMA)



Acima do N.A.
 - Perfuratrizes rotativas
 - Profundidades até 30m
 - Diâmetros de 0,20 a 1,70m
 (comum até 0,50m)

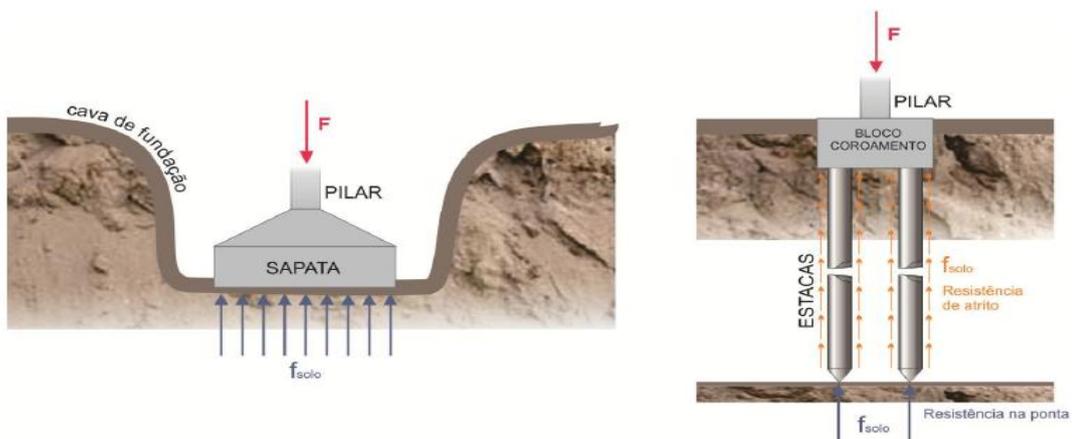
Figura 11 – Caminhão com perfuratriz.

Outro exemplo é a estaca escavada (c/lama bentonítica) utilizada onde lama tem a finalidade de dar suporte a escavação. Existem dois tipos: estacões (circulares $\phi=0,6$ a $2,0\text{m}$ – perfuradas ou escavadas) e barretes ou diafragma (retangular ou alongadas, escavadas com “clam-shells” Conforme ostra a figura 12



Figura 12 – Clam-shell

Abaixo segue um comparativo entre fundação profunda e fundação rasa.



Fonte: Barros, 2011

Figura 12.1 – comparativo de modelos de fundação rasa e profunda

Tendo em vista que a fundação profunda a qual possui grande comprimento em relação a base, apresenta a capacidade de suporte pela base, porém grande capacidade de carga devido ao atrito lateral do corpo do elemento de fundação com o solo. A fundação profunda, normalmente, dispensa abertura da cava de fundação, constituindo-se por exemplo, em um elemento cravado por meio de um bate estaca (BARROS, 2011).

O processo executivo desse tipo de escavação ocorre em três fases: a) Escavação e preenchimento simultâneo da estaca com lama bentonítica previamente preparada; b) Colocação da armadura dentro da escavação cheia de lama; c) Lançamento do concreto, de baixo para cima, através de tubo de concretagem (tremonha)

Existem, no entanto, cinco fatores que afetam esse tipo de escavação: i) Condições do subsolo (matacões, solos muito permeáveis, camadas duras etc); ii) Lençol freático (NA muito alto dificulta a escavação); iii) Lama bentonítica (qualidade); iv) Equipamentos e plataforma de trabalho (bom estado de conservação); v) Armaduras (rígidas) (FABRICIO E ROSIGNOLO, 2017)

A estaca raiz, por sua vez, são aquelas em que se aplicam injeções de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste e no topo do mesmo, concomitantemente a remoção do revestimento. Neste tipo de estaca não se utiliza concreto e sim argamassa.(FABRICIO E ROSIGNOLO, 2017)

Os Tubulões são elementos de fundação profunda construídos concretando-se um poço (revestido ou não) aberto no terreno, geralmente dotado de base alargada. Diferenciam-se das estacas porque em sua etapa final é necessário a descida de um operário para completar a geometria ou fazer a limpeza. De acordo com a NBR 6122/96 deve-se evitar alturas H superiores a 2m. Deve-se evitar trabalho simultâneo em bases alargadas de tubulões, cuja distância, seja inferior o diâmetro da maior base. Quando é necessário executar abaixo do NA utiliza-se o recurso do ar comprimido.

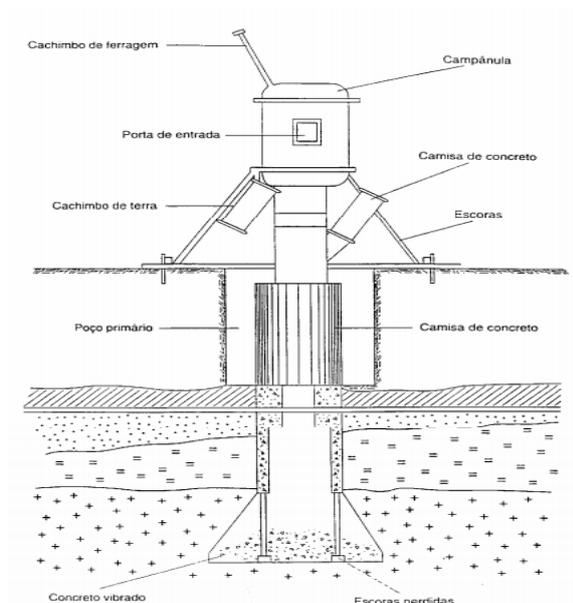


Figura 13 – Tubulão a ar comprimido.



Figura 14 – Execução de tubulão ar comprimido.

Este tipo de fundação em breve será proibida no Brasil, como já acontece em países desenvolvidos. Além disso em uma fundação por tubulões, é necessária a descida de um técnico para inspecionar o solo de apoio da base, medidas de fuste e base, verticalidade, etc.. Em geral, apenas um tubulão já absorve a carga total de um pilar. (FABRICIO ROSIGNOLO, 2017)

EXEMPLOS: APRENDENDO COM O ERRO

Como ciência eminentemente aplicada que é, um dos grandes motores de desenvolvimento da Geotecnia tem sido a ocorrência de acidentes que, em grande medida, se podem atribuir ao insuficiente conhecimento ou à deficiente aplicação do conhecimento geotécnico. O exemplo mais conhecido de luta prolongada para a correção de um erro geotécnico talvez seja o da Torre inclinada de Pisa (Jamiołkowski, 1997, 2004).



Fonte: Internet, 2017

Figura 16 – Torre de Pisa

A torre começou a ser construída em 1173, em solo arenoso muito solto, sendo interrompida em 1178, no 3º andar, com 10,6 m, quando a inclinação era já evidente. Por duas vezes foi recomeçada e novamente interrompida (em 1185 e 1284). Foi terminada em 1350 com 85,9 m e oito andares. Várias tentativas para a estabilizar foram feitas (nomeadamente em 1934 com a injeção de cimento na base), mas o efeito foi frequentemente o oposto do que era pretendido. Os rebaixamentos exagerados do nível freático, ocorridos nos anos 70 devido à intensidade da exploração de água subterrânea em captações locais, parecem ter contribuído para agravar ainda mais a instabilidade. Entretanto, até 1989, 700.000 visitantes subiram ao seu topo. Foi encerrada em 1990 para correção da inclinação, então de 5°30'. Várias soluções foram ensaiadas incluindo a colocação de 800 t de chumbo no lado norte da torre. Finalmente a mais simples acabou por resultar: escavar no lado oposto ao do sentido da inclinação para “equilibrar” o assentamento da torre. Quarenta furos foram feitos para remover 38 m³ de areia enquanto a torre (14.000 t de mármore) estava a ser suportada por cabos ancorados ao chão. Em 15 de Dezembro de 2001 foi finalmente reaberta ao público, que pode fazer visitas guiadas em grupos de 30 (máximo). Desde então não deu mais sinais de instabilidade. Atualmente apresenta a inclinação (cerca de 4°30') que possuía em 1700.

“Nem tudo o que é tecnicamente possível é ecologicamente aceitável”, assim sublinha LANGER (1986) a posição de princípio da IAEG (associação internacional dos geólogos de engenharia) segundo a qual é essencial ter em conta, não só os fatores que afetam a confiabilidade e a eficiência das construções, mas também, em medida não inferior, os problemas de proteção ambiental e do uso racional do ambiente. (COSTA 2007) se isso não for levado a sério novos desastres aconteceram como o que ocorrem em Mariana com o rompimento da Barragem da Samarco.



Figuras 17 – Rompimento da barragem da Samarco, 2016 (Antes e Depois)

Figuras 17 – Desastre causado pelo Rompimento da barragem da Samarco, 2016

Pensando em prevenção e controle e defesa do meio ambiente é que se vem falando ainda em novos campos da aplicação da Geotecnia. As exigências de proteção ambiental estimularam, principalmente a partir da década de 80, novos desenvolvimentos no campo da Geotecnia. FOLQUE (1990) define Geotecnia Ambiental como a disciplina vocacionada para o estudo de novas áreas do conhecimento, como sejam a utilização dos resíduos, a remoção de terrenos e disposição de materiais à superfície, a extração de fluidos do subsolo, a criação de lagos artificiais e o armazenamento subterrâneo. Em cada um destes domínios, a Geotecnia Ambiental, deveria, segundo este autor, intervir no sentido de minimizar os impactes negativos no ambiente dos diversos empreendimentos.

Outro modo de trabalhar a geotécnica a favor do meio ambiente é no que se refere a aterros sanitários



Fonte: Prefeitura de Montes Claros, 2017

Figuras 18 – Aterro sanitário de Montes Claros em fase de desenvolvimento, 2016.

Situado na localidade de Mimoso e pertencente à empresa Via Solo Engenharia, o aterro sanitário cumpre as normas da atual legislação ambiental brasileira. No final de agosto, representantes da Semma – Secretaria Municipal Adjunta de Meio Ambiente – realizaram uma visita técnica para conhecer o local e se inteirar sobre como será feito o processo de aterro dos resíduos sólidos.

Os últimos 20 anos assistiram a modificações radicais no que se refere às tecnologias de construção e exploração dessas infra-estruturas. Essas modificações incluem o desenvolvimento de sofisticados sistemas de monitorização das águas subterrâneas, implementação de sistemas de coletores de lixiviados e biogás, instalação de geosintéticos de impermeabilização e drenagem da fundação e da cobertura e equipamentos de compactação pesada. Mas para que esses investimentos se possam fazer os aterros têm de apresentar uma dimensão bem maior que os antigos vazadouros.



Figura 19 – Ilustração de um aterro de resíduos sólidos urbanos em Montes Claros

Este artigo se fez a partir de uma pesquisa qualitativa de característica bibliográfica, baseada em estudos recentes sobre a Geotecnia e sua aplicação. Para tanto foram pesquisados diversos anais, artigos que pudessem servir de base para este estudo, foram apresentados ainda imagens de obras que estão acontecendo na cidade de Montes Claros, como base exemplificativa dos tipos de fundações possíveis a partir da Geotecnia.

Existem outros riscos geológicos que não proporcionam desastre imediato mas podem provocar prejuízos substanciais à sociedade como sejam a contaminação de solos e águas, a erosão costeira ou a escassez de recursos não renováveis - estima-se que os países industrializados consumam cerca de 20 t/ano de recursos geológicos sólidos por pessoa (Oliveira, 2000).

Por outro lado a vulnerabilidade das populações aos desastres “naturais” está a aumentar, especialmente nas áreas urbanas. Estas parecem atrair o risco geológico. De facto o mesmo risco geológico terá muito mais impacto nas cidades, onde vive muito mais gente, do que nas áreas rurais (COSTA 2007)

Considerações Finais

A partir da pesquisa pode-se considerar que a Geotecnia é uma ramo da engenharia civil, muito importante para a atuação do engenheiro. Somente é necessário que haja mais fiscalização desse serviço tendo em vista da importância que tem para a segurança de uma estrutura de construção.

Fica evidenciado assim que os objetivos da pesquisa foram atingidos, ou seja, considera-se que a Geotecnia é atribuída à análise do solo como um todo, e viu-se na aplicabilidade quanto é importante o estudo geotécnico para as fundações e, conseqüentemente para a engenharia civil.

Contudo, há de se considerar que o que no que se refere a ocupação do solo deve-se levar em consideração que existem outros riscos geológicos que não proporcionam desastre imediato mas podem provocar prejuízos substanciais à sociedade como sejam a contaminação de solos e águas, a erosão costeira ou a escassez de recursos não renováveis e tudo isso influência no modelo do solo, daí a importância da geotécnica que permite estudar as possibilidades de uso desse solo, nas mais diversas áreas.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de; JUSTI JUNIOR, Nadai Jorge **Formação e características dos solos para o entedimento de sua importância agrícola e ambiental**. Coleção Agrinha, 2014. Disponível em: http://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31_Formacao-de-caracteristicas.pdf Acesso em: Março, 2017

BATISTA JUNIOR *Cícero*; LACERDA, Úrsula. **Carreira: Engenheiro Geotécnico, da PINI**. Disponível em: <https://blogdaengenhariacivil.wordpress.com/2015/02/10/o-que-faz-um-engenheiro-geotecnico/> Acesso em: Março, 2017

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos - e suas aplicações** Fundamentos do Egenheiro CiviL Docente Livre da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 6ª Edição Revista e Ampliada VOLUME 1 EDITORA JC, 1988.

KOSHIMA, Akira. et al. **FUNDAÇÕES: teoria e prática**. -- 2.ed.--São Paulo: Pini, 1998

COSTA, Carlos Nunes. **Disciplina de fundamentos de geotecnia: Introdução**. Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil 2006/2007. Disponível em: http://www2.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Geotecnia/Fundamentos_Geotecnia/2_introducao.pdf Acesso em: Março, 2017

DANTAS, Carlos Alberto. **Geotecnia**. Disponível em: <https://www.slideshare.net/CarlosAlbertodaDanta/apresentao1-61706904> Acesso em: Março, 2017

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009

FSP – Faculdade de São Paulo. **Mecânica do Solo**. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2013/03/unidade-1-introduccc3a3o-c3a0-mecc3a2nica-dos-solos.pdf> Acesso em: Março, 2017

GONÇALVES Heloisa Helena Silva; MARINHO, Prof. Dr. Fernando A M.; FUTAI, Prof. Dr. Marcos **Mecânica dos Solos e Fundações: Pef 522 Revisado** em 2014. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/pef0522/Apostila.pdf> Acesso em: Março, 2017

GURGEL, John. **Mecânica do solo**, Apostila, IFRN, 2017. (<https://docente.ifrn.edu.br/johngurgel/disciplinas/2.2051.1v-mecanica-dos-solos-1/apostila%20de%20solos.pdf>) Acesso em: Março, 2017

MAPA DA OBRA. **Tipos de fundação de uma construção**. Disponível em: <http://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-fundacoes-de-uma-construcao/> Acesso em: Março, 2017

NASCIMENTO, U. (1990) – **Contribuição para a história da Geotecnia em Portugal**. GEOTECNIA Nº 58, PP. 3-16.

SILVA, Fernando Moreira da. CHAVES, Marcelo dos Santos, LIMA, Zuleide Maria C. **Geografia Física II**,– Natal, RN: EDUFRN, 2009. Disponível em: http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-

%20Material/Geografia_Fisica_II/Geo_Fis_II_A07_IMBZ_GR_SF_SI_SE_250509.indd.pdf
Acesso em: Março, 2017

UNICAMP. **Fundações do solo.** Disponível em:
<http://www.fec.unicamp.br/~pjra/geotecnia.html> Acesso em: Março, 2017

WIKIPEDIA. **Conceito de Geotecnia.** Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Geotecnia> Acesso em: Março, 2017

UFC – Universidade Federal de Campinas. **Apostila.** Disponível em:
<http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/01.pdf>. Acesso em: Março, 2017.

ANEXOS

Anexo I – Obra em andamento no bairro São Judas de Montes Claros – Modelo de Fundação Rasa

