



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

KARLA BARROS DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VIGAS DE FUNDAÇÃO E RADIER

**UBÁ – MG
2016**

KARLA BARROS DE OLIVEIRA LOPES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VIGAS DE FUNDAÇÃO E RADIER

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: Msc. Israel Iasbik

UBÁ – MG

2016

AGRADECIMENTOS

Finalizo com a entrega do meu TCC mais uma etapa da minha vida!

Agradeço a Deus, dando-me saúde e força para superar os momentos difíceis.

Aos mestres e professores, que com seus ensinamentos, dedicação ao lecionar e pela paciência no meu processo de formação profissional permitiu-me alcançar meus objetivos.

Aos colegas de sala, que se tornaram amigos, pelo apoio, incentivo e companheirismo nestes cinco anos de faculdade.

Aos meus familiares, que foram pessoas fundamentais em todo esse processo de aprendizado.

Ao meu Mestre Israel Iasbik, meu orientador e coordenador, pelo suporte e apoio não só neste momento, mas em todos os anos de faculdade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade, meus sinceros agradecimentos!

Resumo

Sendo a base para a construção de todas as edificações, as fundações são elementos de grande interesse de estudo e é importante que os engenheiros civis tenham completo domínio sobre a utilização dos sistemas de construção das obras de infraestrutura. Dessa forma, esse trabalho tem por objetivo realizar um estudo comparativo entre as vigas de fundação, tão presentes em edificações de pequeno porte, e os radiers, peças inteiriças que substituem os alicerces, tendo igual função estrutural. A abordagem desse estudo visa caracterizar os tipos de solo que permitem receber esses tipos de fundação e dentre elas, possibilitar a melhor escolha durante a concepção de projetos habitacionais. Com base nos estudos realizados para a produção desse trabalho conclui-se que ambas as obras são igualmente aplicáveis como solução para fundações em obras de pequeno porte em solos de média resistência, possuindo vantagens e desvantagens, sendo sua escolha definida pelo projetista com base no prazo de execução e custo dos insumos. Dos resultados obtidos, as obras em vigas de fundação mostraram-se as mais baratas e as obras compostas por radier, as mais rápidas e práticas.

Palavras-chave: Fundação Rasa. Vigas de Fundação. Vigas Baldrame. Radier.

ABSTRACT

As the basis for the construction of all the buildings, foundations are elements of great study interest and it is of the most importance that civil engineers have complete control over the use of the systems for the construction of the infrastructure works. In this way, this work has as objective to carry out a comparative study between the beams of foundation, so present in small buildings and the radiers, integral pieces that replace the foundations, having equal structural function. The approach of this study aims to characterize the types of soil that allow to receive these types of foundation and among them, to determine the best choice during the design of housing projects. Based on the studies carried out for the production of this work, it is concluded that both works are equally applicable as a solution for foundations in small works in medium resistance soils, having advantages and disadvantages, being their choice defined by the designer based on the term And cost of inputs. From the obtained results, the works in beams of foundation were the cheapest ones and the works composed by radier, the fastest and practical.

Keywords: Surface foundation. Beams of foundation. Baldrame beams. Radier. Comparative study.

1 INTRODUÇÃO

As fundações nas edificações remontam a tempos ancestrais, quando o homem, já sedentário, na ausência de grutas e cavernas para se proteger das intempéries e animais ferozes, viu-se obrigado a construir sua própria habitação. Tem-se como exemplo as casas de madeira construídas pelos primeiros pescadores à beira de lagos e praias, sobre estacas elevadas de madeira, as chamadas palafitas, e posteriormente a construção de templos gigantescos na Grécia, Roma e Egito. Não havia qualquer ciência sobre a resistência e estabilidade do solo naquela época, mas “este saber empírico foi se acumulando ao longo de tempo, e o fato de existirem, ainda hoje, muitas de suas construções, datadas de muitos séculos, mostra o valor e a importância dessa experiência acumulada” (NETO, 1998, p. 17).

Já na atualidade, observa-se como essencial a presença das fundações, sem as quais não há qualquer possibilidade de se elevar uma edificação. Segundo o dicionário Michaelis, uma fundação é um “conjunto de obras necessárias para sustentar e assentar os fundamentos de uma edificação, bem como para transmitir suas cargas diretamente ao solo; alicerce, base, fundamento”¹.

Segundo Caputo (2014), o período contemporâneo da história da geotecnia² é introduzido por Karl Terzaghi, considerado o pai da Mecânica dos Solos e maior parte do conhecimento adquirido ao longo dos anos posteriores aos seus primeiros trabalhos foram se agregando aos trabalhos originais e compondo uma verdadeira enciclopédia do saber geotécnico.

Das fundações conhecidas, pode-se diferenciá-las em rasas e profundas as quais, enquanto elementos construtivos, são escolhidas em decorrência do tipo de obra de construção civil e das características do solo que receberá essa edificação. Objeto deste estudo, as fundações rasas são aquelas capazes de transmitir a carga total da edificação diretamente para o solo e podem ser executadas por meio de alicerces de blocos ou tijolos, baldrames, sapatas e radier.

Logo, torna-se objetivo deste trabalho diferenciar os tipos de fundações rasas citadas acima e realizar um estudo comparativo entre as Vigas de Fundação,

¹ Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?id=kYOQ>>. Acesso em 10 set. 2016.

² Geotecnia é a aplicação de métodos científicos e princípios de engenharia para a aquisição, interpretação e uso do conhecimento dos materiais da crosta terrestre e materiais terrestres para a solução de problemas de engenharia. É a ciência aplicada de prever o comportamento da Terra e seus diversos materiais, no sentido de tornar a Terra mais habitável para as atividades humanas. Disponível em: <<http://goo.gl/ALWZE4>>. Acesso em 10 set. 2016.

também conhecidas como Vigas Baldrame, e o Radier, com foco no custo *versus* benefício no processo da escolha desses dois tipos de fundação.

Assim sendo, a abordagem desse tema busca analisar, por meio de uma visão crítica, as técnicas de fundações rasas empregadas atualmente em pequenas construções civis de baixo custo de um pavimento, seu impacto econômico e a utilização racional dos materiais de construção empregados para a produção dessas fundações.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 O solo

Segundo Pinto (2006, p. 14), “os solos são constituídos de um conjunto de partículas com água (ou outro líquido) e ar nos espaços intermediários”. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Brasileira Recomendada (NBR) de número 6502, datada de setembro de 1995, define solo como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”. Sua tipologia é de suma importância para a Engenharia Civil e para os projetos de construção que dela derivam.

O tipo do solo utilizado é a informação primordial que deve obter-se para dar início aos estudos preliminares de um projeto de construção civil. De posse dessas informações, torna-se possível, no projeto de fundações, prever as respostas do solo às solicitações de carga da edificação.

Diferentes entre si, os solos possuem um comportamento muito mutável e requerem uma análise mais acurada, realizada em campo por engenheiros especialistas ou geotécnicos aptos a reconhecer as exigências do solo em questão. Diferentemente do aço e do concreto, os solos não possuem características previsíveis e possuem as mais diversificadas composições, além da presença de água, em maior ou menor quantidade, seja na superfície, seja em camadas mais profundas.

Da composição física do solo, considera-se a mais importante o tamanho das partículas que o compõem, segundo Pinto (2006). No mesmo solo, por exemplo, podem coexistir partículas visíveis e invisíveis a olho nu, formando a totalidade da

amostra. “Denominações específicas são empregadas para as diversas faixas de tamanho de grãos e seus limites variam conforme os sistemas de classificação.” (PINTO, 2006, p. 15). A NBR 6502 (ABNT, 1995) define as frações do solo pelos seguintes limites dos tamanhos de seus grãos, nomeando-as da seguinte forma:

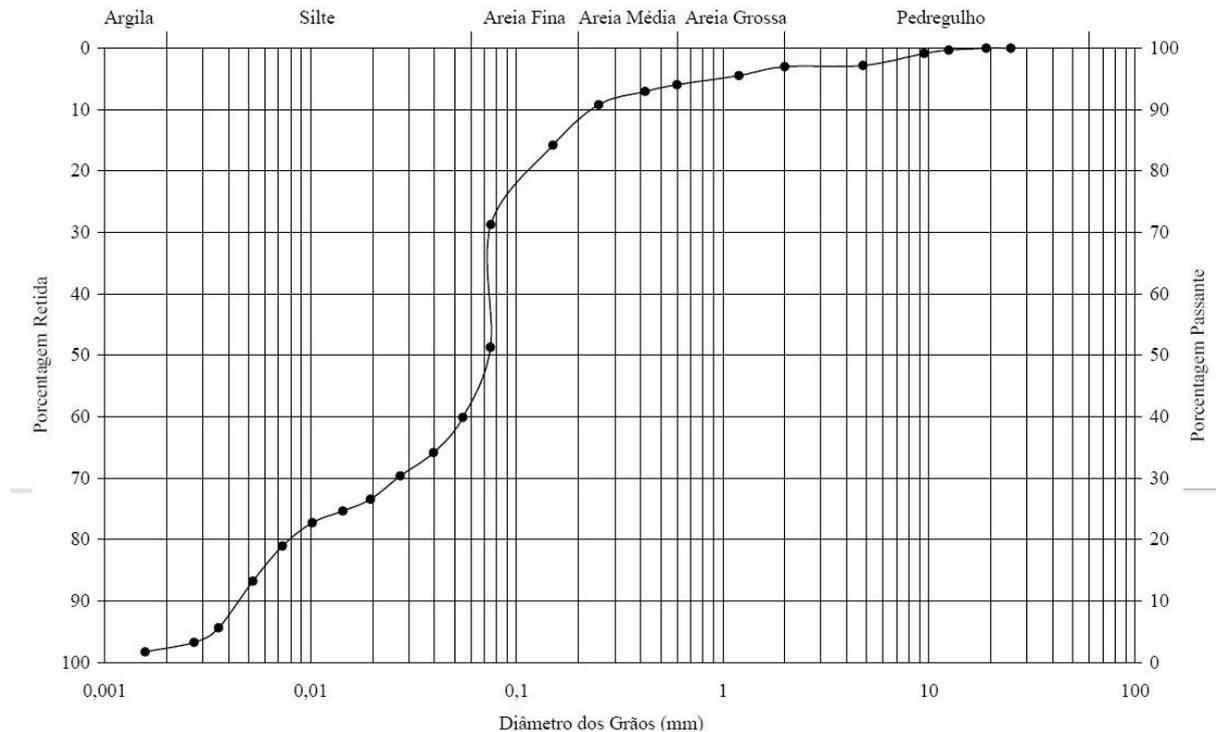
- Pedregulho: “Solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 mm e 60 mm. Quando arredondados ou semiarredondados são denominados cascalho ou seixo” (ABNT, 1995, p. 15).
- Areia: “Solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm” (ABNT, 1995, p. 8).
- Silte: “Solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, e que exibe baixa resistência quando seco ao ar. [...] É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm (ABNT, 1995, p. 17).
- Argila: “Solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade” (ABNT, 1995, p. 9).

2.2 Classificação dos solos

Agrupados em conjuntos distintos, os solos foram sendo classificados “pela sua origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios” (PINTO, 2006, p. 64). Entretanto, é de interesse da Engenharia Civil e do comportamento das fundações a classificação baseada nas características dos grãos que compõem o solo, agrupados nas faixas do tamanho de grãos apresentados na seção 2.1.1 e o grau de compactação que eles apresentam no solo amostrado. Tal disposição define grupos de solo com comportamentos semelhantes, auxiliando o engenheiro no entendimento de como proceder ao projetar uma obra de construção civil para o tipo de solo classificado. O tamanho dos grãos é determinado diretamente pela análise granulométrica, um ensaio laboratorial regulamentado pela NBR 7181 (ABNT, 1984) que consiste, em geral, em duas fases: uma fase de peneiramento e uma fase de sedimentação do material. A FIG. 1 apresenta a representação gráfica da análise granulométrica de um determinado solo. Segundo Pinto (1998, p. 59), um “solo bem graduado é

composto de partículas em quantidades tais de cada tamanho que os vazios formados pelas maiores são preenchidos pelas menores, sucessivamente”.

FIGURA 1 – Curva Granulométrica dos Solos segundo especificações da NBR 7181 (ABNT, 1984)



Fonte: (RELATÓRIOS UNIDOS, 2016)³

Os solos então são classificados, a partir de uma proposta de Casagrande (1948, *apud* Pinto, 2006) em solos granulares, solos finos, solos orgânicos, solos residuais e solos lateríticos. Também são classificados por Casagrande (1948, *apud* Pinto, 2006) os solos compactados provenientes de aterros, assunto que será abordado na seção 2.1.3.

Os solos granulares são aqueles constituídos de pedregulhos e areias em sua predominância. Não coesivos, esses solos são altamente permeáveis pois apresentam grandes espaços vazios entre suas partículas.

Já os solos finos, constituídos por argila e silte, podem possuir de consistência muito mole à dura, de acordo com a classificação das argilas segundo a consistência de Terzaghi. Segundo Pinto (1998, p. 61),

³ Disponível em: <<https://goo.gl/Cphaah>>. Acesso em 22 set. 2016.

o solo é classificado como argiloso quando se apresenta bastante plástico em presença de água, formando torrões duros ao secar. Os solos são classificados como siltosos quando mais suaves ao manuseio na presença de água, e quando secos, se esfalelam com facilidade.

Os grãos destes tipos de solo são muito finos e os espaços vazios entre as partículas, muito pequenos. Devido à essa estrutura, os solos finos apresentam resistência à penetração de água, uma vez absorvida, tendem a dificultar o seu processo de eliminação, como consequência.

“São chamados solos orgânicos aqueles que contêm uma quantidade apreciável de decomposição de origem vegetal ou animal. Geralmente argilas ou areias finas, são de fácil identificação, pela cor escura e pelo odor característico” (PINTO, 1998, p. 62). Normalmente, os solos orgânicos são de difícil utilização, devido ao alto grau de compressibilidade a que eles estão sujeitos, podendo adensar na presença de cargas elevadas.

Quanto aos solos residuais, podem ser assim classificados como os solos obtidos da decomposição de rochas provenientes do mesmo local, assim formados por ação do tempo e das intempéries. Fatores como a temperatura, o regime de chuvas e a vegetação influenciam diretamente no processo de decomposição das rochas, especialmente em regiões de clima tropical. Tais fatores também propiciam a formação de solos lateríticos, típicos das regiões de clima quente, possuindo “sua fração argila constituída predominantemente de minerais caulinísticos e apresentam elevada concentração de ferro e alumínio, donde sua peculiar coloração avermelhada”. Dessa forma, observa-se nos países de clima tropical a maior ocorrência desses tipos de solo, dentre eles, o Brasil.

2.2.1 Aterros e solos compactados

Em virtude do traçado do relevo do local onde se deseja construir, muitas vezes se faz necessário a utilização de um rearranjo do traçado original, resultando em movimentação do solo por meio do serviço de terraplenagem, que tem por objetivo, através de um conjunto de operações de escavação com transporte, espalhamento, retirada e compactação de solos imprimir uma tensão excessiva para aumentar o contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo ou, no caso dos cortes e desaterro, aliviar a tensão por meio de retiradas de solo sem contudo,

alterar sua estrutura inicial, segundo Massad (2010). Quaisquer que sejam os serviços executados, o objetivo final é a redução de futuros recalques e da permeabilidade do solo e aumentar sua rigidez e resistência.

2.3 Investigações geotécnicas

2.3.1 Sondagem de simples reconhecimento

Para um conhecimento mais acurado do perfil do solo que se deseja utilizar no projeto de fundações, é possível ao engenheiro recorrer a um procedimento onde é possível identificar e classificar as diversas camadas do solo e analisá-las. Regulamentado pela NBR 6484 (ABNT, 2001), a sondagem de simples reconhecimento, também conhecida como SPT⁴ é de longe, o ensaio mais executado no Brasil e no mundo e, segundo (Quaresma *et al*, 1998) mede o tipo de solo e sua resistência oferecida à cravação do amostrador ao longo da profundidade perfurada e a posição do nível ou níveis d'água durante o processo de perfuração.

É interessante ressaltar que os ensaios SPT tornam-se mais frequentes em construções que geram cargas mais elevadas, como prédios, ou na suspeita de presença de água no terreno em questão. Por vezes, apenas o método empírico é suficiente para determinar o tipo do solo em uma construção de uma residência de baixo custo e apenas um pavimento e será o método utilizado para a demonstração dos estudos comparativos realizados nesse trabalho.

2.3.2 Investigação por análise cartográfica

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Brasil possui classificados 13 tipos de solo, “classificação obtida a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representam”⁵. Como mencionado anteriormente, a análise realizada pelos engenheiros na concepção de projetos de fundação é baseada prioritariamente na composição granulométrica do solo reconhecido e na presença ou ausência de água

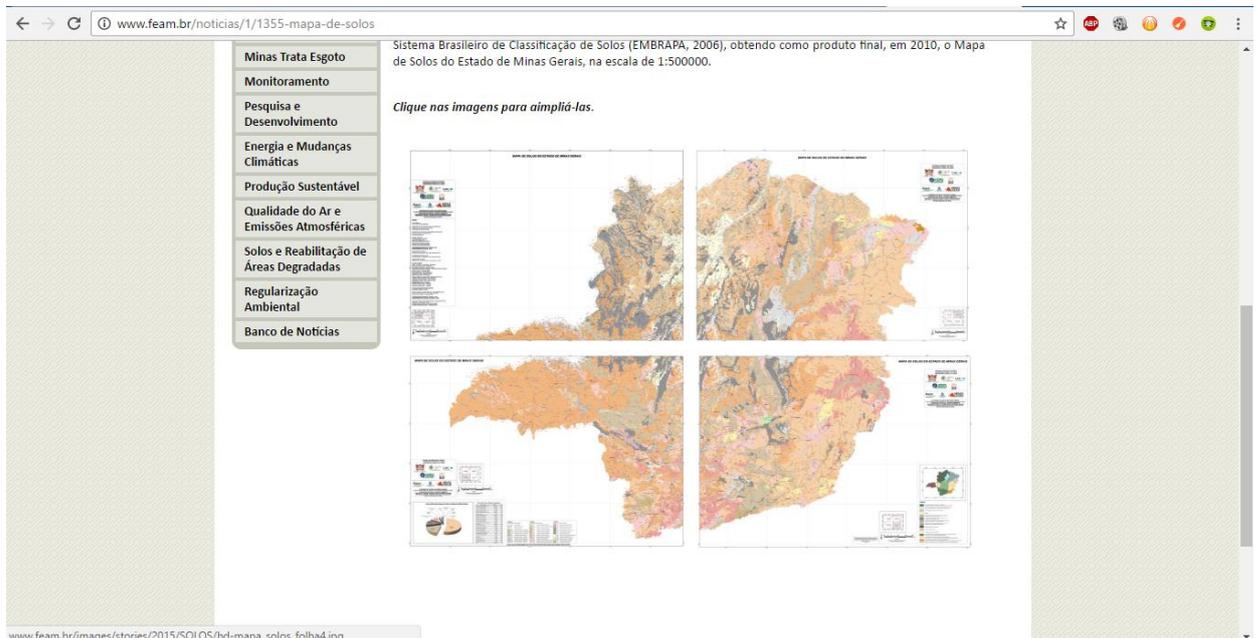
⁴ Do inglês: *Standard Penetration Test*

⁵ PORTAL EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>>. Acesso em 23 set. 2016.

na superfície ou em camadas inferiores, além do grau de compactação dos grãos no solo amostrado.

Entretanto, faz-se necessário conhecer as características gerais dos solos que se deseja explorar. A Universidade Federal de Viçosa (UFV), em parceria com Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) mapearam, em 2010, todo o solo do território mineiro, fornecendo uma ferramenta de grande utilidade para profissionais que necessitem dessas informações para a tomada de decisão sobre este recurso natural. O mapa de todo o estudo realizado pode ser visualizado na FIG. 2, disponível no portal da FEAM⁶. Ao clicar na região de interesse, a imagem encaminha o usuário até um mapa mais detalhado, onde o usuário pode, por meio de cores que remetem às legendas, conhecer a classificação do solo de sua região. A FIG. 3 representa o mapeamento dos solos da cidade de Ubá – MG e seu entorno.

FIGURA 2 – Mapeamento dos solos mineiros disponível no site da FEAM

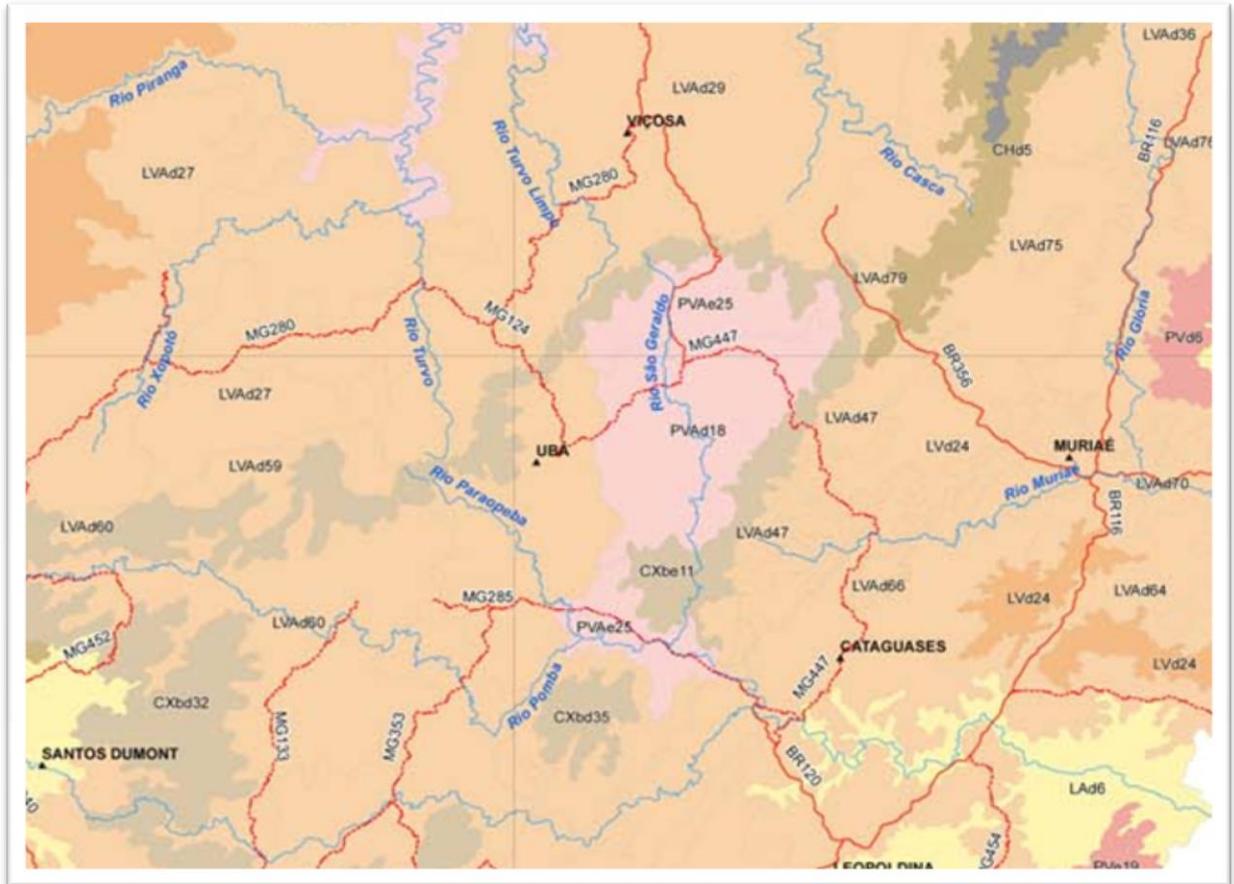


Fonte: (FEAM, 2016)⁷

⁶ PORTAL FEAM, 2016. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/1355-mapa-de-solos>>. Acesso em 23 set. 2016.

⁷ Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/1355-mapa-de-solos>>. Acesso em 23 set. 2016.

FIGURA 3 – Mapeamento dos solos da cidade de Ubá –MG e seu entorno



Fonte: (FEAM, 2016)⁸

Pode-se concluir, em observação ao mapa que a região de Ubá possui três tipos principais de solo: Latossolo vermelho-amarelo eutrófico argissólico, Argissolo vermelho distrófico arênico e Cambissolo háplico eutrófico típico, representados na FIG. 4. A Revista Brasileira de Ciência do Solo⁹ da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) publicou em 2008 um estudo sobre as propriedades físicas desses três tipos de solo¹⁰, que podem servir de parâmetro para entender as propriedades dos solos da cidade de Ubá e seu entorno. Resumidamente, esses três tipos de solo possuem a distribuição granulométrica indicadas na TAB. 1.

⁸ Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2015/SOLOS/hd-mapa_solos_folha4.jpg>. Acesso em 23 set. 2016.

⁹ Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-0683&lng=en&nrm=isso>. Acesso em 23 set. 2016.

¹⁰ Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100006>. Acesso em 23 set. 2016.

TABELA 1 – Distribuição Granulométrica dos solos encontrados na região de Ubá/MG

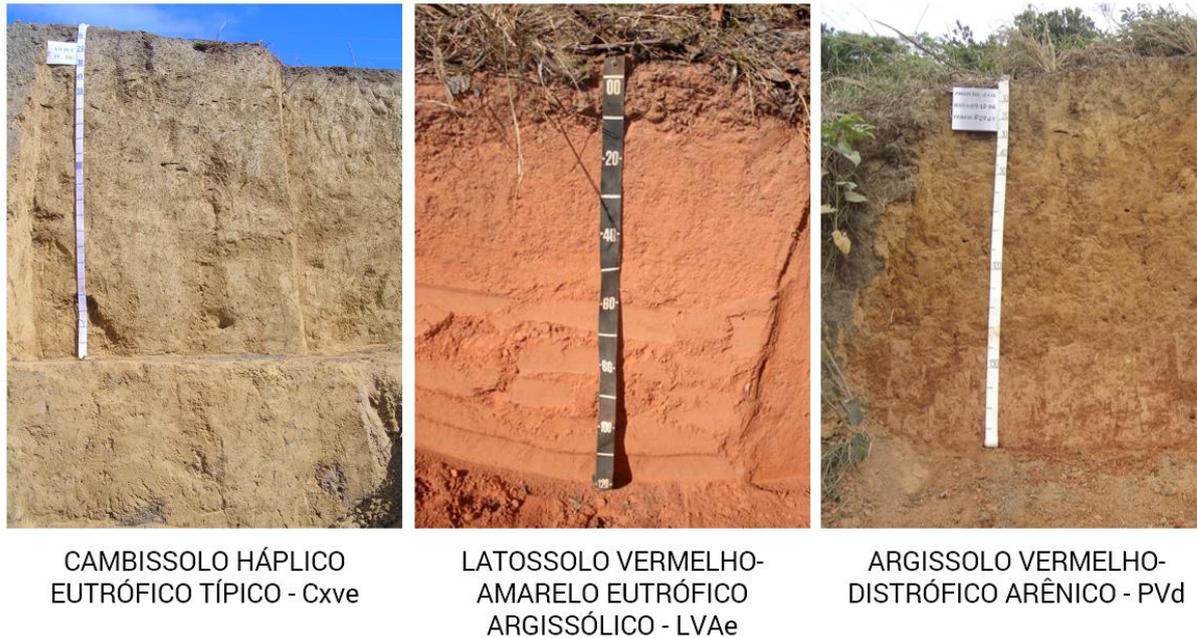
Composição Granulométrica (%)						
Areia					Silte	Argila
Muito grossa	Grossa	Média	Fina	Muito fina		
Cambissolo háplico eufórico típico – Cxve						
23,00	7,70	5,50	9,90	4,60	22,60	26,70
Latossolo Vermelho-Amarelo eufórico argiloso – LVAe						
6,50	19,00	25,20	20,00	4,20	6,10	19,00
Argissolo Vermelho distrófico arênico - PVd						
6,15	21,80	30,20	22,30	4,10	2,30	13,15

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados coletados pela SBCS¹¹

Frequentemente, para projetos de pequenas residências de baixo custo, os engenheiros civis não realizam os ensaios de sondagem do solo sugeridos pela literatura, até mesmo por questões de custo, utilizando-se de métodos empíricos para a classificação da capacidade de carga do solo. Baseada nessa prática, a investigação do solo por análise cartográfica pode ser uma ferramenta útil no processo decisório do projetista. A própria NBR 6122 (ABNT, 1996), que regulamenta o projeto e a execução de fundações admite a possibilidade do uso de métodos empíricos chegando-se “a uma pressão admissível com base na descrição do terreno. Estes métodos apresentam-se usualmente sob a forma de tabelas de pressões básicas conforme a Tabela [2], onde os valores fixados servem para orientação inicial”. (ABNT, 1996, p. 8)

¹¹ Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/rbcs/v32n1/06q1.gif>>. Acesso em 23 set. 2016.

FIGURA 4 – Tipos de solo da região de Ubá/MG



Fonte: (IAC, 2016)¹²

TABELA 2 – Pressões básicas suportadas pelo solo para dimensionamento de fundações pelo método empírico – NBR 6122 (ABNT, 1996)

Classe	Descrição	Valor (MPa)
1	Rocha sã, maciça, sem laminação ou sinal de decomposição	3,0
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	1,5
3	Rochas alteradas ou em decomposição	Ver nota C
4	Solos granulares concrecionados – conglomerados	1,0
5	Solos pedregulhos compactos a muito compactos	0,6
6	Solos pedregulhos fofos	0,3
7	Areias muito compactas	0,5
8	Areias compactas	0,4
9	Areias medianamente compactas	0,2
10	Argilas duras	0,3
11	Argilas rijas	0,2
12	Argilas médias	0,1
13	Siltes duros (muito compactos)	0,3
14	Siltes rijos (compactos)	0,2
15	Siltes médios (medianamente compactos)	0,1

Fonte: (ABNT, 1996, p. 9)¹³

¹² Disponível em: <<https://goo.gl/ugWcFp>>. Acesso em 23 set. 2016.

¹³ **Nota c:** Para rochas alteradas ou em decomposição, têm que ser levados em conta a natureza da rocha matriz e o grau de decomposição ou alteração (ABNT, 1996, p. 9).

2.4 Fundações

Segundo Velloso (1998, p. 211), “a concepção de fundações é, na realidade, um misto de ciência e arte” e cabe ao projetista abordar os principais aspectos que envolvem o tema observando os seguintes elementos necessários e critério de projeto:

- a) Levantamento topográfico e planialtimétrico da área;
- b) Levantamento sobre taludes e encostas de terreno;
- c) Levantamento de dados sobre erosões ou demais evoluções geomorfológicas;
- d) Investigação do subsolo;
- e) Tipo e finalidade da futura edificação;
- f) Sistema estrutural da nova obra;
- g) Cargas atuantes e suas ações na fundação provocadas pela nova construção;
- h) Investigação das construções vizinhas, número de pavimentos que possuem, desempenho das fundações, existência de pavimento subsolo;
- i) Possíveis perturbações ocasionadas pelas escavações da nova obra.

As fundações ainda devem atender aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 8681 (ABNT, 2003), acerca das ações e segurança nas estruturas, associados aos estados limites últimos, relativos a colapsos parciais ou totais da estrutura a ser edificada e estados limites de utilização, envolvendo deformações que possam comprometer a obra.

Quanto à sua classificação, as fundações podem ser rasas ou profundas. De acordo com os critérios adotados pela NBR 6122 (ABNT, 1996), as fundações rasas são

Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas (ABNT, 1996, p. 2).

Já as fundações profundas são assim definidas:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões (ABNT, 1996, p. 2).

A norma ainda menciona a existência de fundações mistas, que associam os dois tipos de fundação mencionadas anteriormente. Exemplificam as fundações mistas sapatas construídas sobre estaca, os blocos de coroamento sobre as estacas, ou até mesmo a construção de Radier sobre um conjunto de estacas.

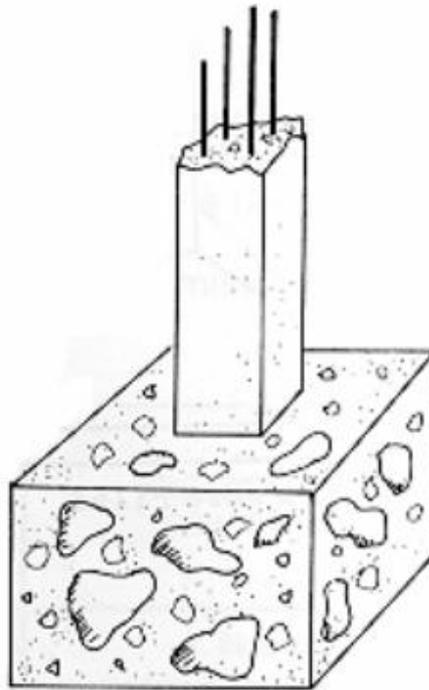
2.4.1 Fundações rasas

Objeto deste trabalho, faz-se necessário caracterizar os tipos de fundações rasas classificados pela NBR 6122 (ABNT, 1996).

2.4.1.1 Bloco

Os blocos são elementos de fundação de concreto simples ou ciclópico, dispensando armaduras. Possuem grande rigidez e resistem aos esforços por compressão simples. São executados abrindo-se uma vala das dimensões desejadas e realizando o apiloamento do fundo. Após essa etapa, o fundo recebe um lastro de concreto magro de cerca de 5,0 cm de espessura, com a finalidade de diminuir a pressão de contato com o solo e uniformizar e limpar o piso sobre o qual será concretado o bloco. A seguir, são montadas as formas e realizada a concretagem da peça. A FIG. 5 exemplifica um bloco de fundação.

FIGURA 5 – Bloco de fundação



Fonte: (NPC.UFSC, 2016)¹⁴

2.4.1.2 Vigas de Fundação

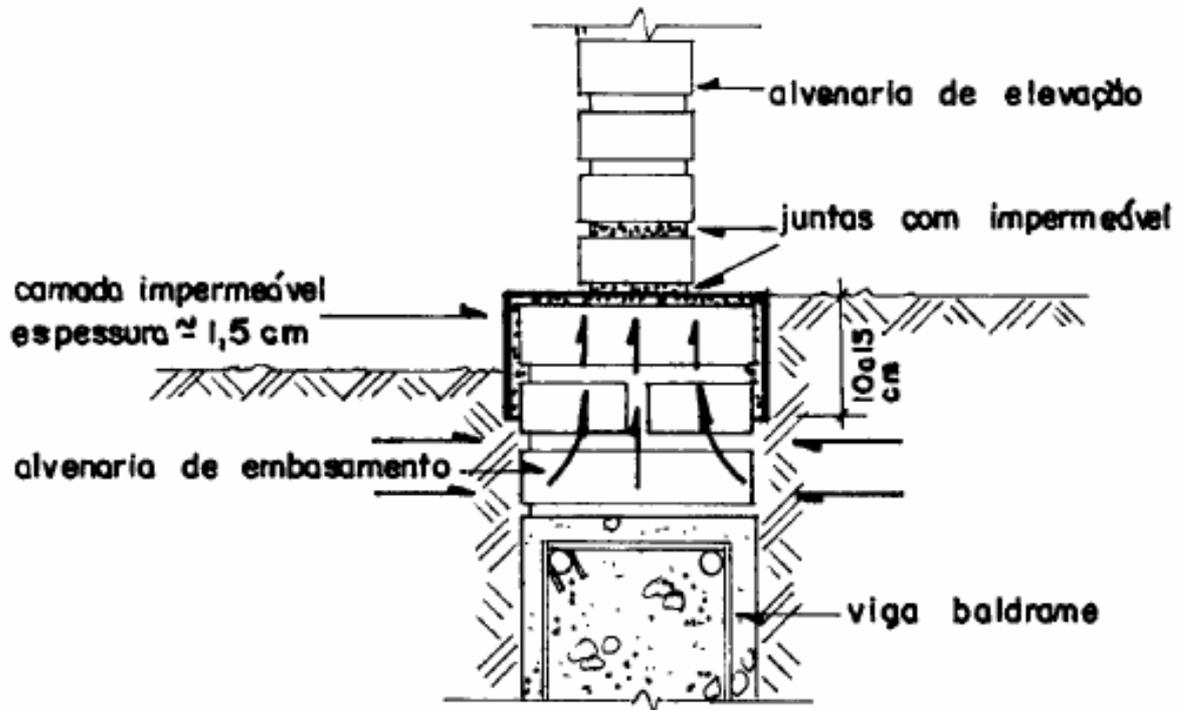
São vigas de fundação os elementos construtivos que recebem pilares alinhados. Também chamados baldrames, podem ser constituídos por concreto simples ou armado, possuindo formato retangular, moldadas *in loco* e construídas em escavações de pouca profundidade, destinadas a suportar as cargas distribuídas da edificação. Sobre o fundo das valas é aplicado um lastro de concreto magro com espessura de 5,0 cm. Posteriormente a vala será concretada e sobre ela elevada um feixe de alvenaria denominada “alvenaria de respaldo” ou “alvenaria de embasamento”, que será impermeabilizada, com a finalidade de evitar a ação dos agentes agressivos do solo. A FIG. 6 representa o corte transversal de uma viga de fundação.

“O uso das vigas baldrame também proporciona travamento entre os blocos de fundação, distribuindo os esforços laterais e restringindo parcialmente o giro em sua direção”¹⁵.

¹⁴ Disponível em: <<http://www.npc.ufsc.br/gda/humberto/l02.pdf>>. Acesso em 24 set. 2016.

¹⁵ ENGCARLOS, 2016. Disponível em: <<https://engcarlos.com.br/o-que-sao-vigas-baldrames>>. Acesso em 24 set. 2016.

FIGURA 6 – Seção transversal de uma viga baldrame e alvenaria de embasamento



Fonte: (MILITO, 2009, p. 52)

2.4.1.3 Radier

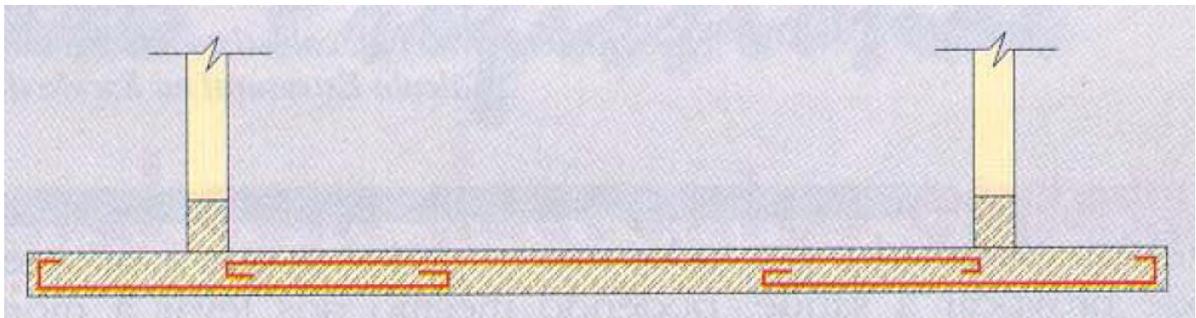
O Radier é “o elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra”. (Velloso, 1998, p. 212). Segundo Rebello (2013), o Radier pode ser utilizado em qualquer tipo de solo, independentemente de sua resistência, porém sua utilização é mais frequente em solos com composição desconhecida ou pouco resistentes, a fim de se evitar os efeitos do recalque diferencial. Constituído por uma placa monolítica de concreto, o Radier recebe toda a carga da edificação e a distribui uniformemente por toda a peça, comportando-se como uma “laje invertida”, conforme ilustra a FIG 7. Seu processo executivo é relativamente simples, utilizando uma fôrma única de sarrafos ao redor da área a ser construída e malhas de aço para a composição da estrutura armada. Nesse quesito há que se fazer menção de um fato importante: como o Radier possui um comportamento de “laje invertida”, na qual as tensões distribuídas ao solo provocam uma reação direta sob a peça, as armaduras negativas são colocadas na face inferior e as armaduras positivas, na face superior, como ilustra a FIG. 8, uma vez que o momento fletor máximo positivo é proveniente do solo e o momento fletor máximo negativo, da interação entre os pilares e a peça.

FIGURA 7 – Radier



Fonte: (BRZ-EXPERTS, 2016)¹⁶

FIGURA 8 – Posicionamento das armaduras no Radier



Fonte: (REBELLO, 2013)

Segundo os apontamentos de Rebello (2013), quando a superestrutura prevê o uso de pilares, a solução para o Radier é a construção de uma laje maciça com a previsão de vigas no contorno, onerando sobremodo o processo executivo. Nessas condições, a melhor opção para a adoção do Radier seria para a construção de edificações em alvenaria estrutural ou em *Light Steel Framing* (*Estruturas em Aço Leve*). Frequentemente utilizada em conjuntos habitacionais pela velocidade de sua execução, o Radier para esses tipos de edificação elimina a necessidade de vigas e

¹⁶ Disponível em: <<http://www.brz-experts.com.br/lib/media/esquema%2002.jpg>>. Acesso em 24 set. 2016.

funciona como um contrapiso concretado, disponível para a elevação da edificação assim que curado. A FIG. 9 demonstra a execução de um Radier sem pilares, para a elevação de alvenaria estrutural, prevendo apenas as tubulações destinadas à passagem de água e fiação elétrica. Os vergalhões verticais utilizados no processo correspondem às amarrações das paredes e posterior grauteamento, processo recorrente nesse tipo de sistema construtivo.

FIGURA 9 – Execução de um Radier para construção em alvenaria estrutural

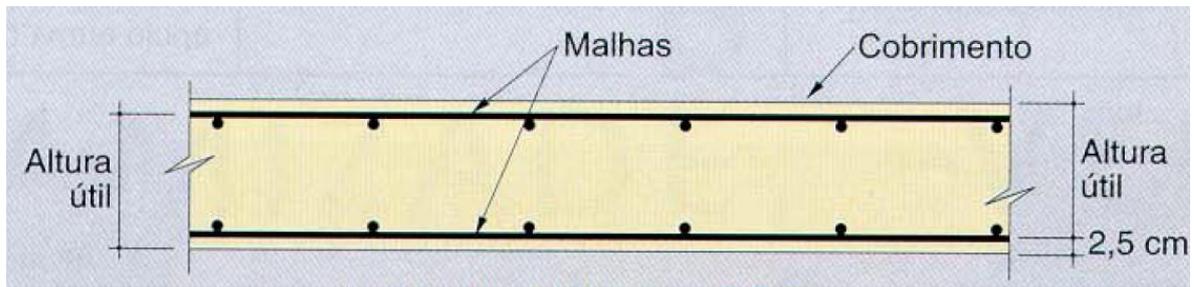


Fonte: (BRZ-EXPERTS, 2016)¹⁷

Ainda em conformidade aos preceitos de Rebello (2013), o terreno deve estar bem nivelado e nos limites da forma deverá ser espalhada uma camada de Brita 2 de cerca de 5,0 cm de altura. Sobre a camada de britas deverá ser alocada a armadura e para garantir o cobrimento, deverão ser afixados nas armaduras espaçadores plásticos. A FIG. 10 representa o perfil de um Radier finalizado. Ainda pode ser prevista, em projeto, a utilização de lonas ou mantas impermeabilizantes antes da aplicação da camada de brita, a fim de combater a agressividade do solo e umidade decorrente das chuvas.

¹⁷ Disponível em: <<http://www.brz-experts.com.br/lib/media/esquema%2003.jpg>>. Acesso em 24 set. 2016.

FIGURA 10 – Perfil de um Radier finalizado



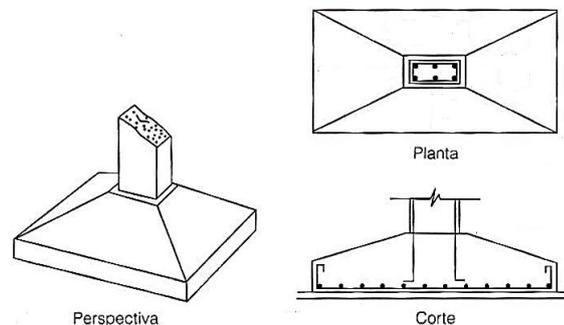
Fonte: (REBELLO, 2013)

2.4.1.4 Sapatas

Elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal (ABNT, 1996, p.2).

As sapatas podem apresentar-se numa fundação de edificação de forma isolada, conforme ilustra a FIG. 11, corrida, na qual suportam a carga de vários pilares, como demonstrado na FIG. 12 ou associada, na qual distribuem igualmente o peso de dois pilares. Essa última é constantemente empregada no uso de muros de divisa, quando parte da sapata não pode invadir o terreno vizinho, tendo sua seção comprometida e necessitando do apoio de outra sapata para realizar sua função estrutural (FIG. 13).

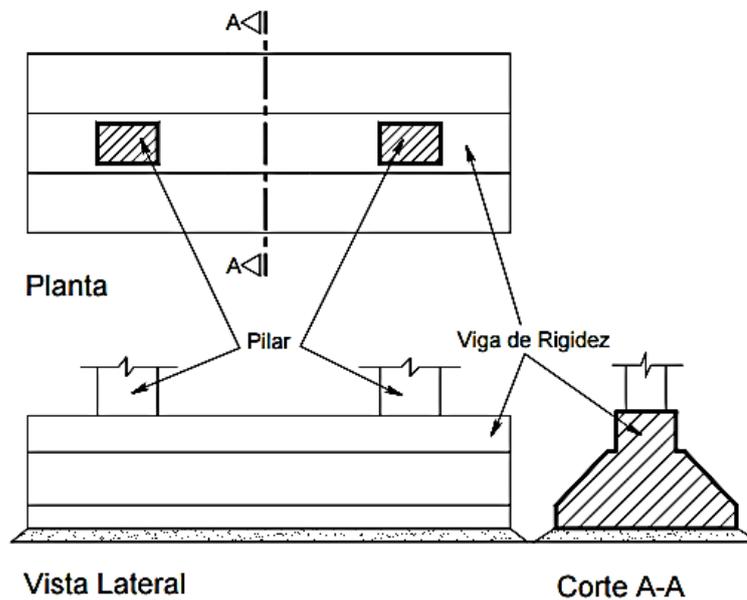
FIGURA 11 – Sapata Isolada



Fonte: (UNEMAT, 2016)¹⁸

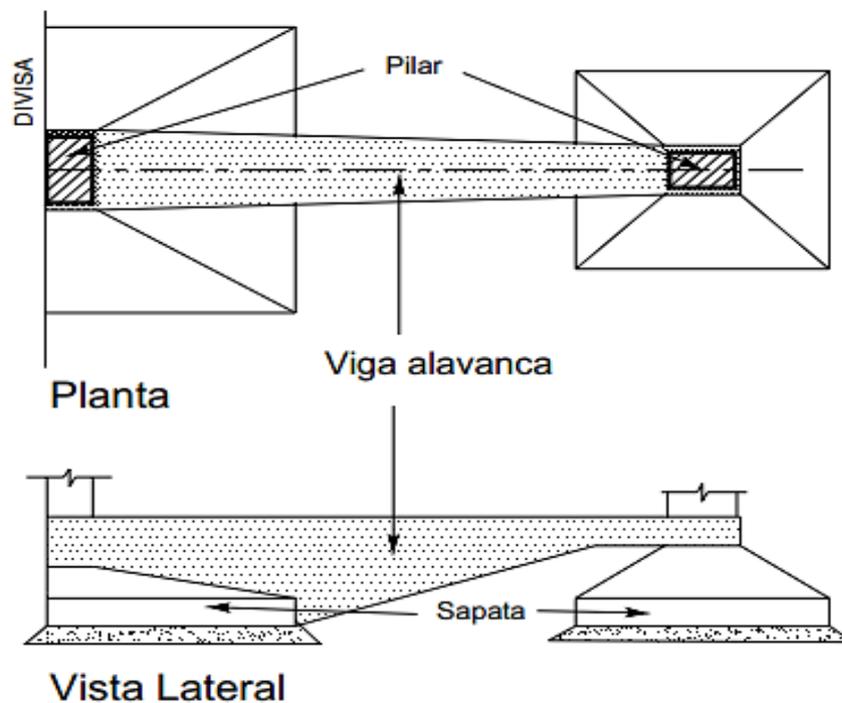
¹⁸ Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_4880fot_i_-_aula_4_-_sapatas_isoladas_pdf.pdf>. Acesso em 26 set. 2016.

FIGURA 12 – Sapata Corrida



Fonte: (UFSM, 2016)¹⁹

FIGURA 13 – Sapatas Associadas



Fonte: (BLOG CONSTRUIR, 2016)²⁰

¹⁹ Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.

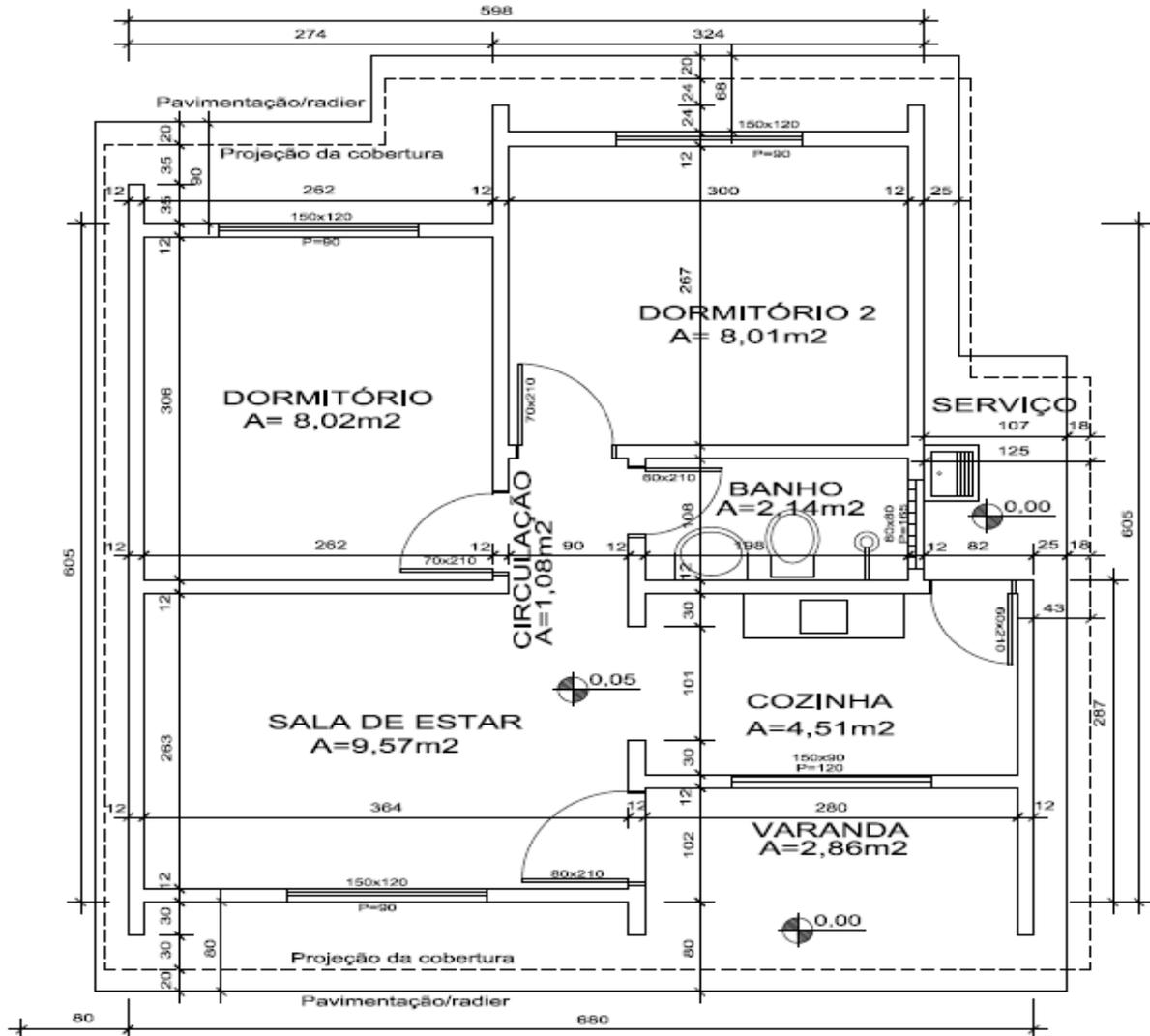
²⁰ Disponível em: <<http://blog.construir.arq.br/wp-content/uploads/2013/09/viga-de-equilibrio.png>>. Acesso em 26 set. 2016.

Assim como os blocos de concreto, são abertas valas e aplicado um lastro de concreto magro no fundo. Logo após, é inserida a armadura e posteriormente as formas, para lançamento do concreto na etapa final. De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 1996, p. 12), “em planta, as sapatas não devem ter dimensão inferior a 60 cm”.

2.5 Estudo comparativo

O presente estudo visa comparar a facilidade e velocidade na execução de um Radier e de Vigas de Fundação para uma residência de baixo custo, cujo projeto modelo pode ser visualizado na FIG. 14. Também é de interesse desse estudo comparar financeiramente o custo das duas obras, levando em consideração não só o consumo de material, mas ainda o custo da mão de obra e o desgaste dos operários na execução desses dois tipos de fundação. Logo após, serão apresentados na seção 2.6 os resultados obtidos neste estudo comparativo.

FIGURA 14 – Planta baixa de uma residência de interesse social de um pavimento (Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida)



Fonte: (CAIXA, 2016)²¹

2.5.1 Levantamento de cargas

O projeto, idealizado em alvenaria estrutural, conta com paredes de blocos estruturais de concreto e uma cobertura em laje maciça de concreto armado. Para a concepção do projeto de fundação foi necessário realizar o levantamento das cargas incidentes sobre a edificação. A TAB. 3 indica o somatório de cargas utilizadas para a realização do projeto de fundação.

²¹ Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>>. Acesso em 14 nov. 2016.

Das informações presentes na tabela, as espessuras dos blocos foram consultadas na NBR 15961-1 (ABNT, 2011) e as espessuras dos revestimentos retiradas da NBR 13818 (ABNT, 1997). Os pesos específicos foram consultados na NBR 6120 (ABNT, 1980) e os coeficientes de ponderação e aplicação das cargas acidentais retiradas da NBR 6118 (ABNT, 2014). Sobre os cálculos de área, foram obtidos por meio de comandos no *software* Autodesk AutoCAD e a espessura da laje calculada através do *software* AltoQI Eberick.

TABELA 3 - Levantamento de cargas para concepção do projeto de fundação

Elementos	Área (m ²)	Espessura (m)	Peso específico (kN/m ³)	Coefficiente de ponderação	Cargas p/ a fundação (kN)
Alvenarias	126,57	0,14	14,00	1,40	347,31
Revestimento - Argamassa	126,57	0,02	19,00	1,00	48,10
Revestimento - Cerâmico	36,36	0,01	19,00	1,00	6,91
Laje maciça	57,46	0,10	25,00	1,40	201,11
Carga acidental	57,46	-	2,00	-	114,92
Total das cargas					718,34
Peso próprio das Vigas de Fundação	8,58	0,40	25,00	1,40	120,12
Peso próprio do Radier	57,46	0,20	25,00	1,40	402,22

Fonte: Elaborado pela autora.

2.5.2 Tensão admissível do solo

Como mencionado anteriormente, a NBR 6122 (ABNT, 1996) permite a classificação e a adoção de suas tensões admissíveis baseadas na descrição do terreno. Como observado pela análise cartográfica, os solos da região de Ubá são predominantemente areno argilo-siltosos e podem ser enquadrados na Classe 9, caracterizando o solo como "areias mediamente compactas". Esse solos suportam uma carga máxima de 0,2 MPa, ou 200 kN/m².

O próximo passo é conferir se a carga da edificação, calculada na seção 2.5.1 é suportada pelo solo em questão. Para isso, foi realizado o levantamento das áreas das Vigas de Fundação e do Radier. A tensão nos solos, segundo Pinto (2006) é calculada conforme a Equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde,

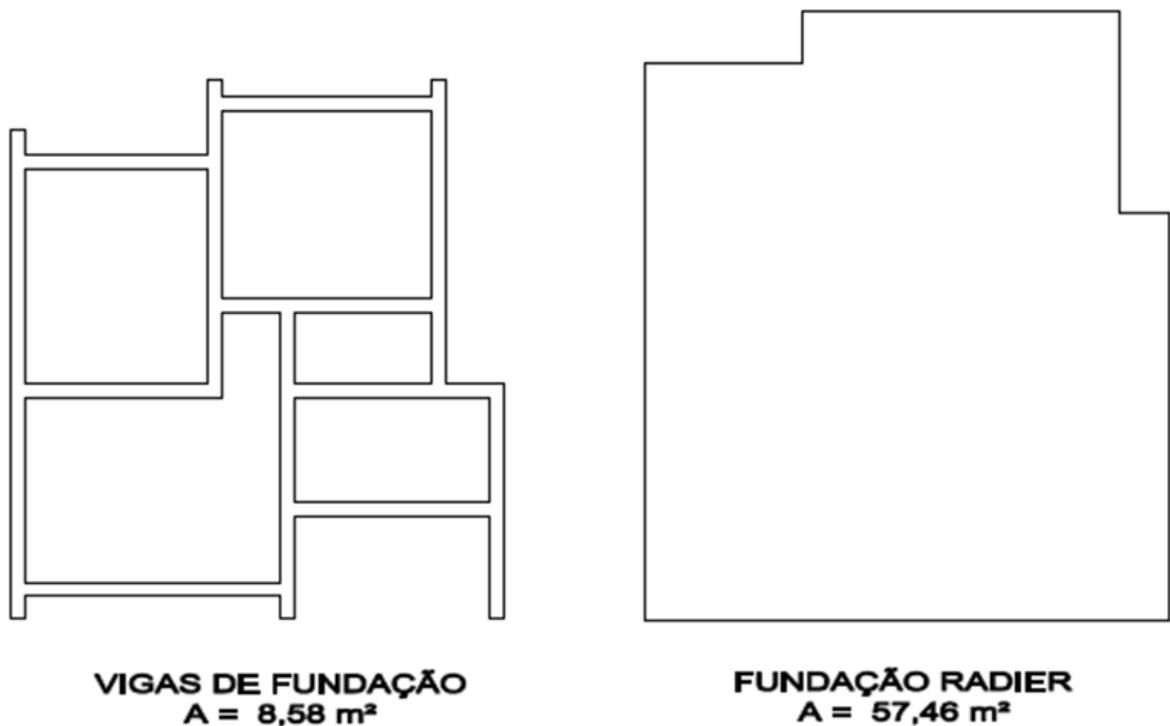
σ = Tensão do solo [kN/m²];

F = Somatório de forças atuantes [kN];

A = Área total da fundação [m²].

Para os casos estudados neste trabalho, têm-se as seguintes áreas para as vigas de fundação e para o Radier, conforme demonstrado pela FIG. 15.

FIGURA 15 - Cálculo das áreas das fundações



Fonte: Elaborado pela autora

Dessa forma, tem-se como somatório de forças atuantes sobre o solo um total de 838,46 kN no caso das Vigas de Fundação e 1120,56 kN no caso do Radier, considerando o somatório das sobrecargas e o peso próprio de cada elemento. Com esses dados, calcula-se que as tensões atuantes no solo para o caso das vigas de fundação resultam em 97,72 kN/m² e 19,50 kN/m², ambos valores aceitáveis como tensões incidentes nesse tipo de solo, que suporta carga máxima de 200 kN/m².

É importante esclarecer que o Radier possui um somatório de cargas superior às vigas de fundação, porém, por possuir uma área de contato com o solo maior que os baldrames, transferem ao solo uma tensão bem menor que as Vigas de Fundação, ficando a critério do projetista decidir o método utilizado para a obra, uma vez que o solo resiste bem aos dois tipos de fundação.

2.5.3 Levantamento de custo

Após a verificação do quantitativo utilizado para a execução das obras de fundação, foi composta uma planilha de custo baseada na composição de preços da Secretaria de Estado de Transporte e Obras Públicas (SETOP)²² para as fundações em Radier (TAB. 4) e Vigas de Fundação (TAB. 5), apresentadas a seguir.

TABELA 4 - Composição de preços para fundação em Radier

Radier					
Código SETOP	Componente/Ísumo	Quant.	Unid.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
EST-CON-085	Fornecimento e lançamento de concreto estrutural usinado FCK \geq 25 MPa, Brita 1 e módulo de elasticidade conforme NBR 6118	11,49	m ³	345,79	3.973,13
ARM-TEL-005	Armadura de tela de aço CA-60 B soldada tipo Q138 (diâmetro do fio: 4,20 mm / dimensões da trama: 100 x 100 mm)	36,27	Kg/m	5,76	208,92
PIS-LON-005	Lona preta	60,00	m ²	2,10	126,00
EST-FOR-005	Forma e desforma em tábuas de Pinho, exclusive escoramento	15,85	m ²	66,97	1.061,47
FUN-LAS-010	Lastro de Brita 2 ou 3 apilado manualmente	0,63	m ²	110,86	69,84
Total					5.369,52

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o processo executivo do Radier, é necessária uma camada de brita apilada manualmente, recoberta por uma lona preta, que impede a interação da água do solo com o concreto lançado. Também está presente no Radier a armadura de tela aço para combater a tração na flexão e sarrafos de madeira, que compõem o formato e a altura da região a ser concretada. Por último, faz-se necessário, em virtude do grande volume utilizado, da contratação de concreto usinado para a finalização do processo. O somatório quantitativo de material foi

²² SETOP, 2016. Disponível em: <<http://www.transportes.mg.gov.br/>>. Acesso em 14 nov. 2016.

obtido por meio de comandos de área e volume com a utilização do *software* AltoQI Eberick e a composição da planilha e cálculo do custo, obtida pelo *software* Microsoft Excel.

TABELA 5 - Composição de preços para Vigas de Fundação

Vigas de Fundação					
Código SETOP	Componente/Insumo	Quant.	Unid.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
EST-CON-035	Fornecimento e lançamento de concreto estrutural virado em obra FCK \geq 25 MPa, Brita 1 e 2	2,90	m ³	450,04	1.305,12
ARM-AÇO-020	Corte, dobra e armação de aço CA-50/60	6,95	Kg/m	7,40	51,43
TER-ESC-050	Escavação manual de terra (desaterro manual)	15,19	m ²	25,40	385,83
FUN-LAS-005	Lastro de concreto Magro	0,63	m ³	409,10	257,73
Total					1,742,37

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o processo executivo das vigas de fundação, ou baldrame, é necessária uma camada de lastro de concreto magro para evitar o contato dos agentes nocivos do solo com o concreto estrutural, após a abertura das valas, desaterradas manualmente em virtude da estreita largura das peças. Também estão presentes nas vigas baldrame as armações de aço, cortadas, dobradas e armadas à mão e o lançamento de concreto virado em obra produzido pelos próprios operários, uma vez que o concreto usinado não é fornecido para volumes inferiores a 3,0 m³, segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012) – Execução de concreto dosado em central. O somatório quantitativo de material foi obtido por meio de comandos de área e volume com a utilização do *software* AltoQI Eberick e a composição da planilha e cálculo dos custos obtida pelo *software* Microsoft Excel.

2.5.4 Resultados

As TAB. 4 e TAB. 5 fornecem o resultado do custo direto para a construção das obras de fundação para as opções em Vigas de Fundação e Radier. Em uma análise superficial, conclui-se que as Vigas de Fundação apresentam um custo 67% menor que o Radier, projetados para a mesma edificação, em termos de custo de

material. Entretanto, para a obra em estudo, são previstos para as Vigas de Fundação um período de três a quatro dias para a preparação e para o Radier um dia para a preparação e 40 minutos para a concretagem. Observa-se no caso das Vigas de Fundação a redução de custo nos materiais, porém, um acréscimo no custo da mão de obra e a possibilidade de fadiga excessiva dos trabalhadores, que no caso das vigas baldrame, necessitam da produção de concreto *in loco*.

Dessa forma, observa-se que as Vigas de Fundação tornam-se mais indicadas para obras que visam um menor custo em materiais e possuem maior disponibilidade de tempo e mão de obra para a produção da fundação. Observa-se ainda, que o Radier torna-se mais indicado para obras que visam um menor tempo de execução, ou uma obra emergencial, que pode se tornar uma vantagem comercial para a construtora compensando o maior custo em materiais para a produção da fundação.

3 CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados para a produção desse trabalho, foi feito um comparativo entre as obras de fundação rasa, Radier e Vigas de Fundação. Pode-se concluir que tais obras são igualmente aplicáveis como solução para fundações em obras de pequeno porte em solos de média resistência e que os dois tipos de fundação rasa, abordados neste trabalho, possuem vantagens e desvantagens, sendo sua escolha definida pelo projetista com base no prazo de execução e custo dos insumos.

Por meio dos cálculos realizados nesse trabalho, as Vigas de Fundação apresentaram-se como as obras mais baratas. Entretanto, são obras mais morosas que os Radiers e ainda possuem a grande desvantagem de utilizar mais tempo de execução e conseqüentemente de mão de obra, além da necessidade de construir o contrapiso da edificação após a elevação das alvenarias.

Já as obras em Radier substituem o conjunto Vigas de Fundação e contrapiso, oferecendo em apenas uma peça a solução para as duas situações, uma vez que, enrijecido, o Radier atende aos requisitos de fundação e piso residencial. Embora seja uma obra relativamente mais cara, há uma considerável redução no custo de mão de obra e um significativo ganho operacional, pela rápida e prática execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6120**. Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6122**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 6484**. Sondagens de simples reconhecimento com SPT: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6502**. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7181**. Análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7212**. Execução de concreto dosado em central: Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15961-1**. Alvenaria estrutural: Blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2011.

BOTELHO, H. M. C.; MARCHETTI, O. B.. **Concreto armado eu te amo**. 8.ed, São Paulo: Blücher, 2015. 553 p. v. 1.

CAPUTO, H. P.. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2014. 234 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em 21 nov. 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.feam.br/>>. Acesso em 21 nov. 2016.

HACHICH, W. *et al.* (Org.). **Fundações**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2012, 751 p.

MASSAD, F.. **Obras de terra**: curso básico de geotecnia. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 216 p.

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

REBELLO, Y. C. P.. **Radier**: como construir. Ficha Techné 26. São Paulo: PINI, 2014. 4 p.

REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-0683&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 21 nov. 2016.