



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS – UNICHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO VICTOR SANTOS MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO ANDROID PARA DIMENSIONAMENTO
DE SAPATAS RÍGIDAS ISOLADAS**

**FORTALEZA
2020**

JOÃO VICTOR SANTOS MONTEIRO

DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO ANDROID PARA DIMENSIONAMENTO DE
SAPATAS RÍGIDAS ISOLADAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Bergson da Silva Matias

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M772d Monteiro, João Victor Santos.
Desenvolvimento de aplicação Android para dimensionamento
de sapatas rígidas isoladas / João Victor Santos Monteiro. - 2020.
62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Me. Bergson da Silva Matias.

1. Sapatas. 2. Dispositivos móveis. 3. Android. I. Título.

CDD 624

JOÃO VICTOR SANTOS MONTEIRO

DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO ANDROID PARA DIMENSIONAMENTO DE
SAPATAS RÍGIDAS ISOLADAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Bergson da Silva Matias
Centro Universitário Christus

Prof. Agérbon César Cunha da Nobrega
Centro Universitário Christus

Prof. Msc. Mariana de Araújo Leite
Centro Universitário Christus

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram e confiaram que seria possível atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai e minha mãe pelo apoio emocional e financeiro durante todo o período da graduação. Agradeço meu irmão pela companhia e modelo de confiança e amizade.

Agradeço à minha namorada Natália Oliveira Silva pelo amor e carinho dado em todos os momentos.

Agradeço à minha família que sempre confiou no meu potencial e nunca me deixou desistir mesmo quando isso parecia a melhor opção.

Sou grato ao meu grande amigo Carlos Sérgio da Silva Marinho pelo companheirismo e imensa ajuda e suporte no desenvolvimento do aplicativo final do presente trabalho.

Agradeço ao professor Msc. Eric Mateus, pela confiança e auxílio em desenvolver este trabalho que me exigiu muita dedicação.

Agradeço ao meu orientador professor Msc. Bergson Matias pela conduta e total disponibilidade nas correções necessárias, bem como no suporte no desenvolvimento do presente trabalho.

Sou grato a todos os amigos e colegas que fiz durante toda a graduação em especial ao João Vitor Sousa e Alessandro Queiroz.

Agradeço ao Centro Universitário Christus pelo incentivo à pesquisa, ao ensino e ao desenvolvimento de projetos que propuseram enorme crescimento acadêmico, individual e profissional.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

O crescente desenvolvimento dos processadores dos dispositivos móveis, aliado à busca por mobilidade, fez com que estes se tornassem um importante recurso na solução de problemas de engenharia. Tendo em vista a popularização de aplicativos para dispositivos móveis e a importância das sapatas na estruturação das edificações, o presente trabalho trata da concepção de uma aplicação *Android* para dimensionar sapatas rígidas isoladas de concreto armado. A partir dos esforços aplicados e da tensão admissível do solo fornecidos pelo usuário, a ferramenta realiza, de acordo com as considerações e limites construtivos da NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6122 (ABNT, 2019), o dimensionamento geotécnico e o cálculo das armaduras a partir do método preconizado no boletim 73 do CEB – 70 (Comité Euro-Internacional du Béton). Para tanto, utilizou-se o *software Android Studio* operando na linguagem de programação orientada a objetos *Java*. A aplicação desenvolvida foi validada comparando seus resultados com os obtidos em softwares disponíveis no mercado e em exemplos resolvidos da literatura. Assim, algumas aplicações numéricas foram feitas para investigar e comparar os resultados dos diferentes modelos de cálculo utilizados por SapForte® e Bastos (2019). Portanto, os resultados obtidos foram validados e demonstraram um alto potencial para aplicação prática/didática.

Palavras-chave: *Sapatas, dispositivos móveis, Android.*

ABSTRACT

The growing development of mobile device processors, combined with the search for mobility, has made them an important resource in solving engineering problems. In view of the popularization of applications for mobile devices and the importance of paddings in the structuring of buildings, the present paper deals with the design of an Android application for dimensioning isolated rigid concrete paddings. From the applied efforts and the allowable soil tension provided by the user, the tool performs, according to the considerations and construction limits of NBR 6118 (ABNT, 2014) and NBR 6122 (ABNT, 2019), geotechnical design and calculation reinforcement using the method recommended in bulletin 73 of the CEB - 70 (Euro-International du Béton Committee). For that, the Android Studio software was used, operating in the Java object-oriented programming language. Thus, the developed application was validated by comparing its results with those obtained in software available on the market and in resolved examples from the literature. Thus, some numerical applications were made to investigate and compare the results of the different calculation models used by SapForte® and Bastos (2019). Therefore, the obtained results have been validated, as well as proved a high potential for practical/didactic application.

Keywords: *Footings, Mobile devices, Android.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de fundação profunda segundo a NBR 6122	17
Figura 2 – Tipos de fundações: (1) Tubulão e (2) Estaca	18
Figura 3 – Representação de fundação superficial	18
Figura 4 – Bloco de fundação <i>in loco</i>	19
Figura 5 – Perfil Escalonado de bloco	19
Figura 6 – Exemplificação de placa de fundação: o <i>Radier</i>	20
Figura 7 – Representação de modelos de sapatas isoladas	21
Figura 8 – Exemplo de sapata associada	22
Figura 9 – Modelo de sapata corrida	23
Figura 10 – Dimensões para consideração de sapata corrida	23
Figura 11 – Esquemática de sapata de divisa com viga de equilíbrio	24
Figura 12 – Sapata exemplificada mostrada em planta e frontalmente	25
Figura 13 – Detalhamento de considerações construtivas	26
Figura 14 – Desenho esquemático de aparelhagem	27
Figura 15 – Exemplo de perfil geotécnico	28
Figura 16 – Bulbo de tensões na base da fundação	29
Figura 17 – Sapata isolada em planta	30
Figura 18 – Altura útil mínima da sapata e outras notações	32
Figura 19 – Representação de distribuição de cargas real e simplificada	34
Figura 20 – Representação de cálculo de momentos pelo CEB – 70	35
Figura 21 – Áreas de influência para cálculo de momentos fletores	37
Figura 22 – Força de reação do solo em um lado da sapata	37
Figura 23 – Representação do Núcleo Central de Inércia	39
Figura 24 – Excentricidades relativas à uma carga pontual	40
Figura 25 – Etapas da execução de um código <i>Java</i>	41
Figura 26 – Exemplo do ambiente do <i>Android Studio</i>	42
Figura 27 – Etapas da pesquisa	43
Figura 28 – Fluxograma de funcionamento do aplicativo	44
Figura 29 – Representação da logo da aplicação	45
Figura 30 – Apresentação da tela de boas-vindas	46
Figura 31 – Tela principal de dimensionamento do aplicativo	47
Figura 32 – Tela padrão de resultados finais	48
Figura 33 – Demonstração da tela de ajuda do aplicativo	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de entrada do exemplo 1	50
Tabela 2 – Resultados do exemplo 1	50
Tabela 3 – Dados de entrada do exemplo 2	52
Tabela 4 – Resultados do exemplo 2	52
Tabela 5 – Dados de entrada do exemplo 3	54
Tabela 6 – Resultados do exemplo 2	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Fundações Profundas	16
2.2	Fundações Superficiais	18
2.3	Sapatas	20
2.3.1	<i>Sapatas Isoladas</i>	21
2.3.2	<i>Sapatas Associadas</i>	21
2.3.3	<i>Sapatas corridas</i>	22
2.3.4	<i>Sapatas com vigas alavancas</i>	23
2.4	Classificação das sapatas quanto à rigidez	24
2.5	Considerações construtivas	26
2.6	Estudo geotécnico	27
2.7	Sapata com carga centrada	29
2.7.1	<i>Cálculo das dimensões da sapata</i>	29
2.7.2	<i>Considerações do método CEB (1970)</i>	33
2.7.3	<i>Verificação da tensão de cisalhamento no concreto</i>	34
2.7.4	<i>Cálculo dos momentos resultantes pelo CEB – 70</i>	35
2.8	Sapata com momento fletor aplicado	38
3	METODOLOGIA	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Apresentação do aplicativo	45
4.2	Validação do aplicativo	49
4.2.1	<i>Exemplo 1 – Sapatas sob carga centrada</i>	50
4.2.2	<i>Exemplo 2 – Sapata com um momento fletor pré-aplicado</i>	52
4.2.3	<i>Exemplo 3 – Sapata sob flexão oblíqua</i>	54
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Os computadores revolucionaram a forma como as estruturas são projetadas. Hoje, é possível considerar aspectos que descrevem um fenômeno físico que seriam impraticáveis sem o auxílio de um computador. Isso porque alguns modelos são numericamente custosos e, em outros casos, não possuem solução exata para muitas situações práticas. Com a evolução da capacidade de processamento dos computadores e ampliação do seu acesso, métodos numéricos, que fornecem soluções com nível de aproximação aceitável, puderam ser desenvolvidos. Além disso, os computadores aumentaram a produtividade e a qualidade dos projetos, uma vez que o tempo que seria gasto com o desenvolvimento de operações automatizáveis pode ser usado para pensar em formas de melhorar o desempenho do sistema analisado.

A evolução das tecnologias de informação tem afetado positivamente a propagação de conteúdo entre os usuários na rede interconectada de dispositivos, permitindo que a população acesse mais facilmente a diversos tipos de conteúdo. O aumento da conexão dos brasileiros a uma gama de conteúdo *online* teve como principais fatores o barateamento dos custos das franquias de *internet* cabeada e móvel, bem como o incremento do número de dispositivos em uso, com destaque para os *smartphones*. Segundo a Fundação Getúlio Vargas – FGV (2019), existem no Brasil cerca de 420 milhões de dispositivos digitais, incluindo *smartphones*, *tablets*, *desktops* e *notebooks*. A FGV (2019) ainda aponta que, dentro desse elevado número de aparelhos, aproximadamente 230 milhões são *smartphones*, dado que representa 55% dos dispositivos.

Junto a isso, o crescente desenvolvimento dos processadores dos dispositivos permitiu a redução de seu tamanho físico, bem como a melhoria na capacidade de cálculo destes. Para efeito de comparação, em 1946 foi desenvolvido o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*) um dos primeiros computadores, o qual pesava por volta de 30 toneladas e ocupava uma área de 180 m² e processava cerca de 4500 cálculos por segundo (SWAINE; FREIBERGER, 2018). Já os processadores atuais de computadores pessoais, segundo Tsukamoto (2010), podem atingir marcas de 400 bilhões de cálculos a cada segundo, além de serem menores que a palma da mão, isto é, muito mais rápidos e práticos que o ENIAC. Com isso, o uso dos *smartphones* tornou-se essencial em todos os níveis de

comunicação e, por isso, é uma ferramenta poderosa na otimização e solução de problemas, tendo, portanto, grande potencial de aplicação em problemas de engenharia.

O advento computacional e a sua popularização justificaram o desenvolvimento de *softwares* para auxílio no projeto, em especial o de estruturas. No mercado existem vários tipos de *softwares* que auxiliam o engenheiro desde a análise estrutural até o detalhamento das estruturas de concreto armado. Todavia, os *softwares* comerciais que permitem a concepção total de um projeto são comercializados em pacotes com elevado custo de aquisição. Além disso, nem toda análise demanda uma ferramenta tão abrangente, sendo importante que existam programas capazes de sanar problemas específicos.

É inegável o papel pedagógico que as ferramentas computacionais possuem. Um *software* capaz de resolver partes específicas de uma estrutura auxilia o aluno a validar de forma rápida e prática resultados de estudos que estão sendo abordados na sala de aula, desenvolvendo a sensibilidade da resposta e análise crítica. Por exemplo, o aluno pode com uma simples edição descobrir, quase instantaneamente, o que acontece com o custo de uma sapata quando se aumenta a resistência do solo.

Dentre os programas com o viés supracitado, o Ftool[®] destaca-se na análise estrutural de pórticos planos, sendo responsável na prototipagem de estruturas. É um programa desenvolvido devido a um projeto de pesquisa pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO) e permite que os estudantes e profissionais, de forma gratuita, possam validar e testar possibilidades de cálculo sem necessidade de operações manuais.

Nem sempre é possível contar com um *desktop* ou *notebook* para utilizar tais programas. Para isso, é importante o desenvolvimento de *softwares* capazes de estarem em dispositivos que são de fáceis acessos e, além disso, estejam com o usuário a maior parte do tempo, ou seja, desenvolver aplicativos para os *smartphones* aumenta a facilidade uso desse tipo de aplicações.

Atualmente, a maior parte dos *smartphones* possuem sistema operacional (SO) *Android*. A popularização desse sistema ocorreu devido a fatores como a capacidade de customização, baixos preços de aparelhos que o possuem e os inúmeros aplicativos da plataforma. Isso só foi possível por ser sistema *open source*, isto é, sistema de código aberto. Essa facilidade permite que vários programadores

possam criar aplicativos diversos com inúmeras finalidades, como um simples jogo ou até um programa de cálculo estrutural, e disponibilizá-los na loja virtual.

Sabe-se que é essencial um engenheiro civil estar bem preparado para solucionar impasses que venham a aparecer com maior celeridade e eficiência. Por isso, o uso de aplicações em dispositivos móveis, que proporcionem resultados confiantes e precisos, são tão importantes no âmbito.

Anteriormente, as formas de consulta de material para assistir o engenheiro ou estudante de engenharia a resolver os problemas eram custosos e demorados. Devido à necessidade de deslocamento, o profissional ou o aluno deveria ir até algum local para buscar em livros físicos o conteúdo que o auxiliasse adequadamente. Além disso, problemas que envolvem cálculos eram demorados e dependiam de calculadoras físicas para serem validados.

Desse modo, o desenvolvimento de aplicações gratuitas capazes de calcular peças estruturais específicas de modo a auxiliar o estudante ou engenheiro têm sido muito exploradas em trabalhos acadêmicos. Outros autores, como Pinto, Bandeira e Bezerra (2019); Bezerra *et al.* (2017); Lopes, Chaves e Bezerra (2018) e Freitas *et al.* (2018), por exemplo, publicaram trabalhos com a temática de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis.

Entende-se que as obras civis, são compostas estruturalmente de infra e supraestrutura. As fundações são elementos da infraestrutura essenciais para garantir a correta distribuição de cargas no solo. Os tipos de fundações estruturais dependem do estudo geotécnico do solo e da modelagem do projeto a ser construído. As sapatas isoladas são uma das estruturas de fundação mais populares, por suas características simples, porém funcionais.

Ante o exposto, o presente trabalho objetiva no geral desenvolver uma aplicação para sistema *Android* utilizando a linguagem *Java* em conjunto com o *software Android Studio* para realizar o dimensionamento de sapatas rígidas isoladas. Para tanto, busca-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Compreender a linguagem orientada a objetos *Java*;
- b) Desenvolver a rotina para dimensionamento de sapatas rígidas isoladas;
- c) Desenvolver junto com o *Android Studio* a interface do aplicativo;
- d) Validar os resultados obtidos pela ferramenta desenvolvida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As fundações são elementos cruciais nas estruturas, já que são responsáveis por distribuir as cargas permanentes produzidas pela estrutura, bem como as cargas variáveis geradas ao longo do uso da edificação. Portanto, o bom dimensionamento das fundações é essencial para a proposta da futura construção.

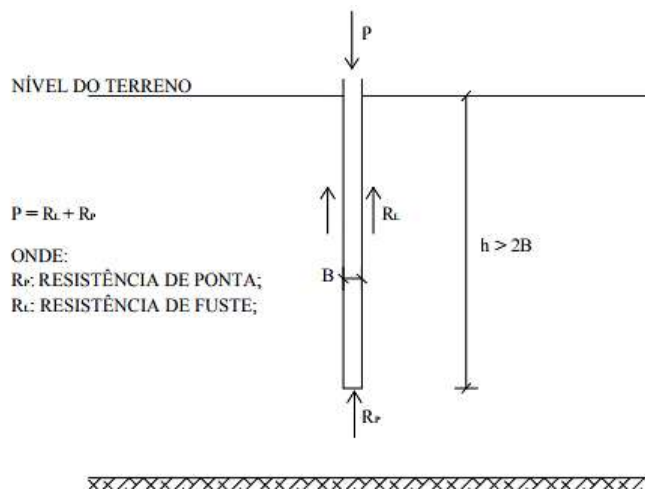
Para a escolha correta de uma fundação, deve-se entender fatores limitantes da obra, tais como o custo, a tensão admissível do solo, o tipo de solo, entre outros. Araújo (2010) ainda cita que a escolha de uma fundação depende da sua capacidade de se deformar. Por isso, a classificação dos solos, a qual, segundo Santos *et al.* (2018), pode ser encontrada pela análise das estruturas químicas, físicas e mineralógicas que apresenta o perfil de solo estudado, é primordial para definir o tipo de fundação a ser utilizada.

De acordo com Araújo (2010), as fundações que possuem recalques adequados à acomodação estrutural e que transmitem segurança à ruptura do solo, estando precisamente acomodada na profundidade apropriada, são consideradas boas fundações. De forma geral, as fundações podem ser divididas em dois grandes grupos: as profundas e as superficiais, que serão melhor detalhadas a seguir.

2.1 Fundações Profundas

As fundações profundas, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), são responsáveis por passar as cargas da estrutura para o solo através da resistência de ponta (base), pela resistência de atrito de fuste (lateral) ou até por ambas. Ademais, a NBR 6122 (ABNT, 2019) ainda determina que para se considerado uma fundação profunda, a profundidade de assentamento, isto é, o quanto a fundação entra no solo, deve ser duas vezes maior que a largura da menor dimensão do elemento e pelo menos com 3 metros de profundidade. A Figura 1 exemplifica a determinação supracitada.

Figura 1 – Representação de fundação profunda segundo a NBR 6122



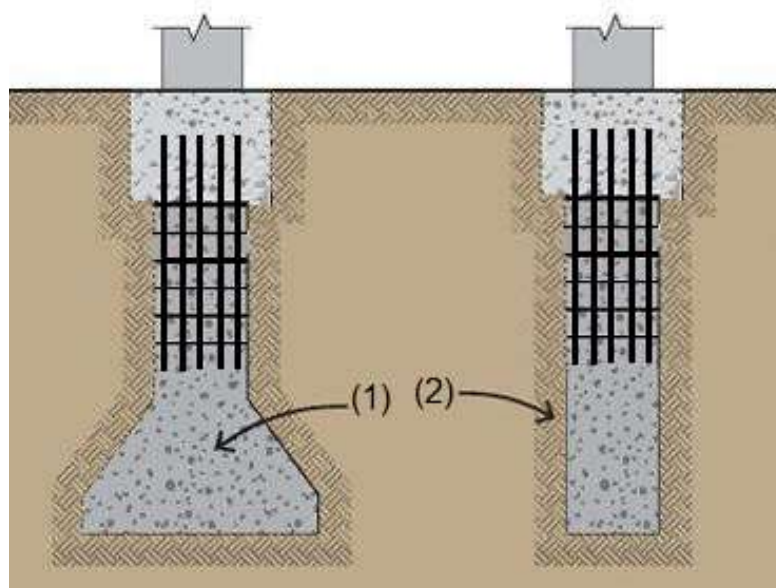
Fonte: Fontana e João (2019).

A NBR 6122 (ABNT, 2019) subdivide as fundações profundas em estacas e tubulões. A mesma norma destaca que as estacas são executadas exclusivamente por maquinário capaz de cravar ou escavar as mesmas, inexistindo a necessidade de descida de funcionários dentro da escavação. A mesma norma cita que as estacas podem ser de diversos materiais, tais como aço, madeira ou concreto (ABNT, 2010). Estacas de aço e madeira são, em geral, cravadas no solo e, no caso das de aço, podem apresentar diferentes perfis. Já as de madeira vem cada vez mais sendo evitadas como fundação profunda, visto que é bem difícil e caro encontrar esse tipo com altas resistências, além de sua extração ser ambientalmente nociva.

Além de aço e madeira, tem-se as estacas de concreto que podem ser tanto cravadas (quando pré-moldadas) quanto escavadas. A determinação de cravação ou escavação depende de muitos fatores como custo, tipo de solo, zona de implantação da obra etc. Por exemplo, a cravação de uma estaca torna o processo mais rápido, todavia produz mais ruído e vibração.

Diferentemente das estacas, os tubulões são estruturas de fundação, geralmente mais alargadas do que as estacas, que são escavados e que há a descida de pessoas para executar a limpeza do fundo ou alargamento de sua base (NBR 6122, 2019, p. 3). Estes podem ser executados tanto a céu aberto, quando, na maioria dos casos é feito acima do lençol d'água; quanto a ar comprimido, quando há a necessidade de escavações abaixo do nível de água do terreno (VELLOSO; LOPES, 2010; p. 234). A Figura 2 mostra um desenho esquemático de ambos os tipos de fundações profundas.

Figura 2 – Tipos de fundações: (1) Tubulão e (2) Estaca

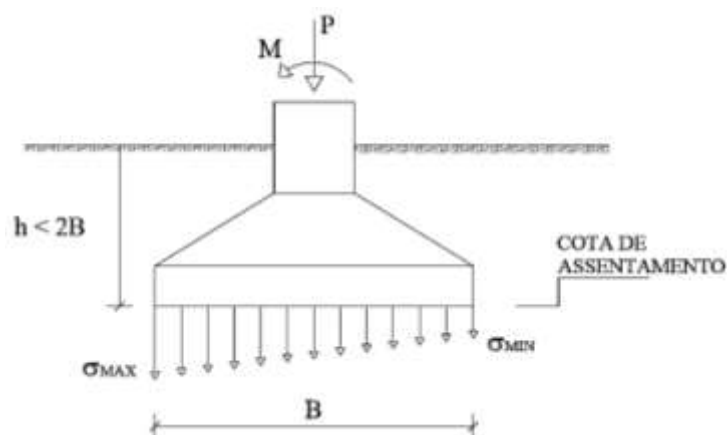


Fonte: Adaptado de Brito (2017).

2.2 Fundações Superficiais

Além das fundações profundas, as fundações superficiais possuem grande uso nas obras. Estas, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), são elementos cuja carga suportada é transmitida para o solo por meio da distribuição das tensões de base da fundação. A mesma norma ainda cita que para ser considerado uma fundação superficial, a cota de profundidade do elemento deve ser menor que duas vezes a menor dimensão da fundação, com dimensão mínima de 60 cm. A Figura 3 representa as características mínimas para uma fundação ser considerada superficial.

Figura 3 – Representação de fundação superficial



Fonte: Dantas Neto (2006).

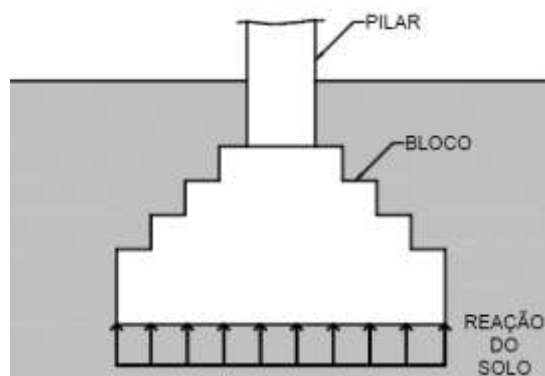
A NBR 6122 (ABNT, 2019) cita como modelos de fundações superficiais os blocos, o *radier* e as sapata. Dentre os elementos anteriores, os blocos de fundação não necessitam de armadura, já consegue suportar as tensões de tração aplicadas sobre ele (ABNT NBR 6122, 2019, p. 3). Além disso, de acordo com Bastos (2019), como os blocos de fundação direta precisam resistir aos esforços de tração sem a necessidade de armadura, a altura desse tipo fundação é relativamente alta para predominar os esforços de compressão. O autor ainda cita que esse tipo de fundação pode ser executado com superfície escalonada ou inclinada quando se deseja economia de concreto. As Figura 4 e Figura 5 mostram um exemplo de bloco de fundação *in loco* e um perfil de bloco escalonado, respectivamente.

Figura 4 – Bloco de fundação *in loco*



Fonte: Directiva Engenharia (2019).

Figura 5 – Perfil Escalonado de bloco



Fonte: Bastos (2019).

O *radier* – também chamado de placa de fundação – caracteriza-se por sua grande área de contato com o solo, permitindo uma melhor distribuição de cargas no terreno. Araújo (2010) afirma que o *radier* é mais utilizado quando o solo é mais heterogêneo e com menor tensão admissível, ou até para estruturas com maiores carregamentos, visto que a placa distribui mais uniformemente ao solo as cargas transmitidas pelos pilares a ela. O mesmo autor ainda cita que o uso de placas de fundação pode ser indicado para fundações superficiais abaixo do lençol freático, por suportar bem a subpressão da água.

De modo geral, o *radier* possui processo construtivos mais simples, tornando-se competitivo em obras de poucos pavimentos. Todavia, obras mais recentes com maiores carregamentos, principalmente edifícios que superam os 300 metros de altura, tem utilizado de forma crescente as placas de fundação combinadas com estacas profundas para melhor distribuição das cargas, como ocorreu com Burj

Khalifah, nos Emirados Árabes (POULOS, 2014, p.108). Figura 6 exemplifica um *radier* simples.

Figura 6 – Exemplificação de placa de fundação: o *Radier*



Fonte: Nakamura (20--).

Além dos elementos de fundações superficiais supracitados, tem-se, ainda as sapatas. Estas podem ser isoladas, associadas, corridas e alavancas. Suas particularidades serão abordadas com mais detalhes a seguir.

2.3 Sapatas

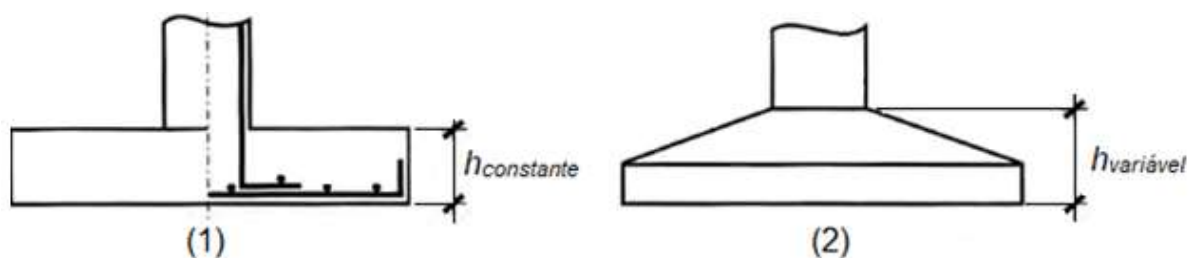
As sapatas são, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), elementos de fundação similares aos blocos de fundação, todavia utilizam armadura destinada a resistir as tensões de tração. Esses elementos de fundação são comumente empregados em diversos tipos de modelos construtivos e são usualmente indicadas em terrenos cuja a resistência da superfície característica do solo seja suficiente suportar as cargas de provenientes da estrutura, bem como ter um bom grau de homogeneidade para mitigar os efeitos de recalques diferenciais (ARAÚJO, 2010, p. 242).

A vantagem primordial desse tipo de elemento é sua rápida execução sem utilização de equipamentos específicos que encareceria e dificultaria o emprego desse tipo de fundação superficial (CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M., 2009, p. 457). As mesmas podem se apresentar de forma diferente, como elemento de subestrutura, dependendo da necessidade estrutural.

2.3.1 Sapatas Isoladas

As sapatas isoladas são caracterizadas por receberem a carga de um único pilar e transmiti-las ao solo (CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M., 2009, p. 457). Esses elementos estruturais podem ter altura fixa, aparentando-se bastante com um bloco armado, ou variável quando se deseja economia de concreto (VELLOSO, D. A.; LOPES F. R.; 2010, p. 132). Ademais, as formas que uma sapata isolada pode ter no projeto é bem variada, todavia, normalmente, utiliza-se formas retangulares ou quadradas casando com os perfis mais usuais dos pilares (BASTOS, 2019, p.4). A Figura 7 mostra um modelo de sapata isolada.

Figura 7 – Representação de modelos de sapatas isoladas

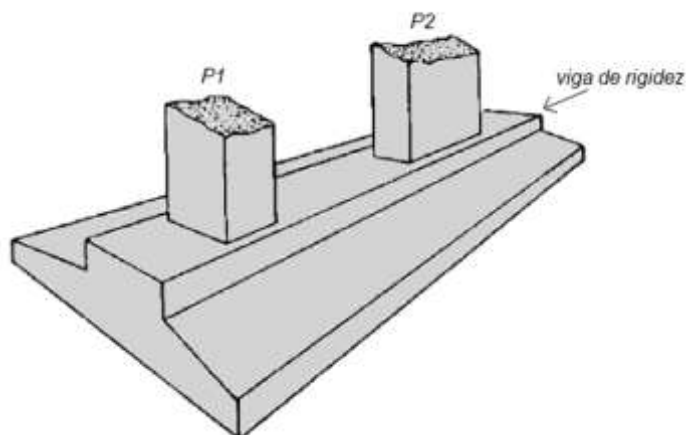


Fonte: Adaptado de Veloso e Lopes (2010).

2.3.2 Sapatas Associadas

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), uma sapata associada funciona como apoio de mais de um pilar. Podem ser executadas como opções estruturais quando não há espaço suficiente para a colocação adequada de sapata isoladas para cada pilar. Para isso, a concretagem das sapatas associadas, de acordo com Brito (1987 *apud* MELHADO *et al.*, 1996, p. 8), deve-se incluir uma viga de rigidez unindo os pilares para manter a sapata trabalhando em constante tensão. A Figura 8 exemplifica esse modelo.

Figura 8 – Exemplo de sapata associada



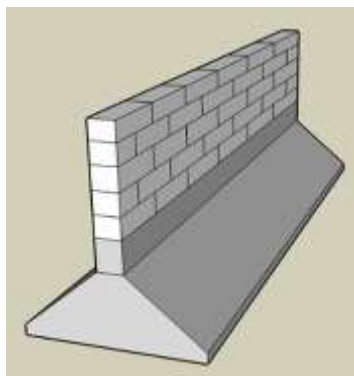
Fonte: Adaptado de Brito (1987 *apud* MELHADO *et al.*, 1996, p. 8).

Além disso, a existência de um carregamento muito grande, que tornaria o uso de sapata isoladas ineficiente, justifica o uso de sapatas associadas (HANCHICH W. *et al.*, 1998, p. 229). Hanchich *et al.* (1998) ainda relata que quando ocorre o aumento de cargas concentradas, diminui-se as possibilidades de escolha das dimensões das sapatas e, assim, o uso de uma sapata que se adeque dentro da área de terreno disponível para a fundação torna-se mais restrito, sendo necessária a associação de dois ou mais pilares na mesma sapata com coincidência de centros de gravidade destes com o centro de cargas. O autor ainda defende que a sapata associada deverá sempre ser evitada quando for possível o uso de sapatas isoladas, já que duas sapatas isoladas apresentam economia de tempo e custo ao invés de uma sapata associada.

2.3.3 Sapatas corridas

As sapatas corridas, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), são elementos de fundação que suportam cargas linearmente distribuídas ou pilares em mesmo alinhamento. Estas, segundo Bastos (2019), são muito comuns em construções pequenas já que representa uma economia interessante quando o solo apresenta boa resistência em pouca profundidade. A Figura 9 mostra um exemplo de sapata corrida.

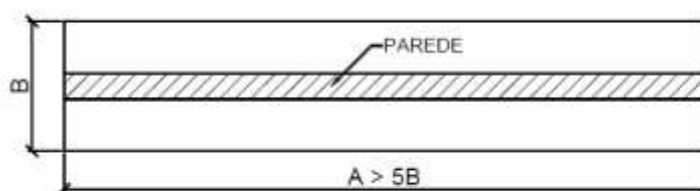
Figura 9 – Modelo de sapata corrida



Fonte: Zago (2018).

Vale ressaltar que nem todo elemento comprido de sapata é considerado corrida. Autores como Hanchich W. *et al* (1998), Cintra J.C. A; Aoki N.; Albiero J. H. (2011) e Bastos (2019) citam que para uma sapata ser considerada corrida, o seu maior comprimento deve ser pelo menos cinco vezes a menor dimensão da sapata (Figura 10).

Figura 10 – Dimensões para consideração de sapata corrida



Fonte: Bastos (2019).

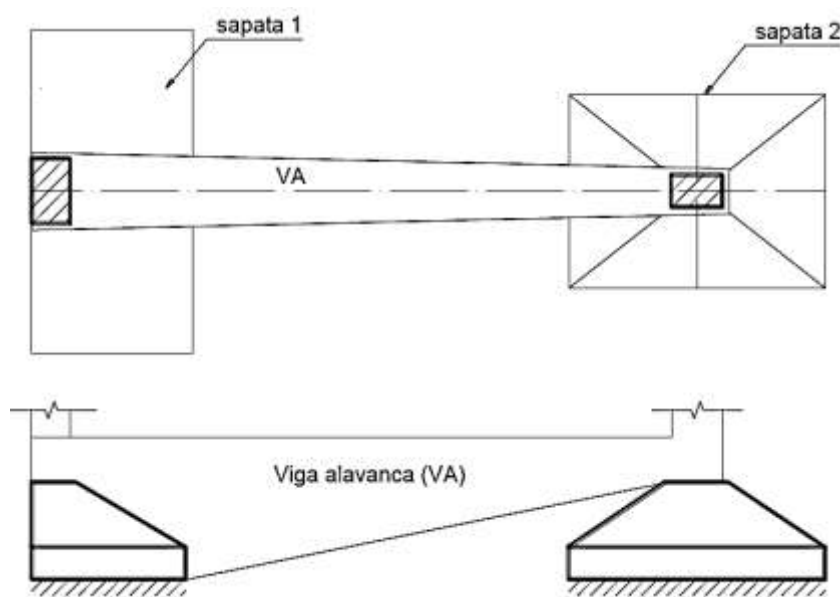
2.3.4 Sapatas com vigas alavancas

A NBR 6122 (ABNT, 2019, p. 7) define as sapatas com vigas alavancas – também denominadas vigas de equilíbrio – como “elemento estrutural que recebe as cargas de um ou dois pilares (ou pontos de carga) e é dimensionado de modo a transmiti-las centradas às fundações”. O uso desse tipo de fundação direta é necessário quando o terreno não permite que os pilares possam estar centrados nas sapatas, sendo necessário utilizar sapatas de divisa (HANCHICH W. *et al.*, 1998, p. 229).

As sapatas de divisa, de acordo com Bastos (2019), recebem os pilares nas bordas da edificação, que causam uma carga excêntrica ao centroide da sapata.

Bastos (2019) ainda cita que a viga alavanca tem maior robustez de seu perfil mais próximo à sapata de divisa para combater o momento fletor gerado pela excentricidade existente. Além disso, Bastos (2019) ainda afirma que as vigas alavancas são associadas a outra sapata isolada para melhor combater os momentos gerados pela excentricidade da peça. A Figura 11 mostra o esquema de sapata união de sapatas com viga alavanca.

Figura 11 – Esquemática de sapata de divisa com viga de equilíbrio

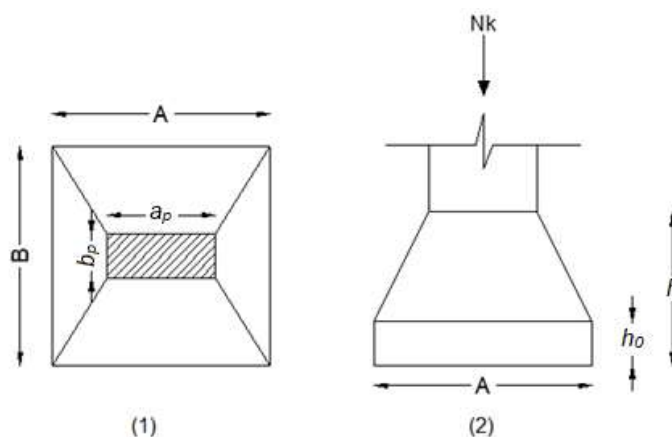


Fonte: Bastos (2019).

2.4 Classificação das sapatas quanto à rigidez

As estruturas de concreto comportam-se de forma diferente de acordo com sua forma, e o entendimento da rigidez dos elementos de fundação é essencial para o dimensionamento adequado. As sapatas podem ser definidas tanto como rígidas quanto como flexíveis dependendo de suas características dimensões como definido na NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 12 mostra a representação em planta (1) e frontal (2) de uma sapata.

Figura 12 – Sapata exemplificada mostrada em planta e frontalmente



Fonte: Acervo do autor (2020).

Dada a representação, a NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que se

$$h \geq \begin{cases} \frac{(A - a_p)}{3} \\ \frac{(B - b_p)}{3} \end{cases} \quad (1)$$

a sapata é considerada rígida. Onde:

h – Altura da sapata

A – Lado da sapata em uma direção;

a_p – Lado do pilar na mesma direção do lado A da sapata;

B – Lado da sapata na outra direção;

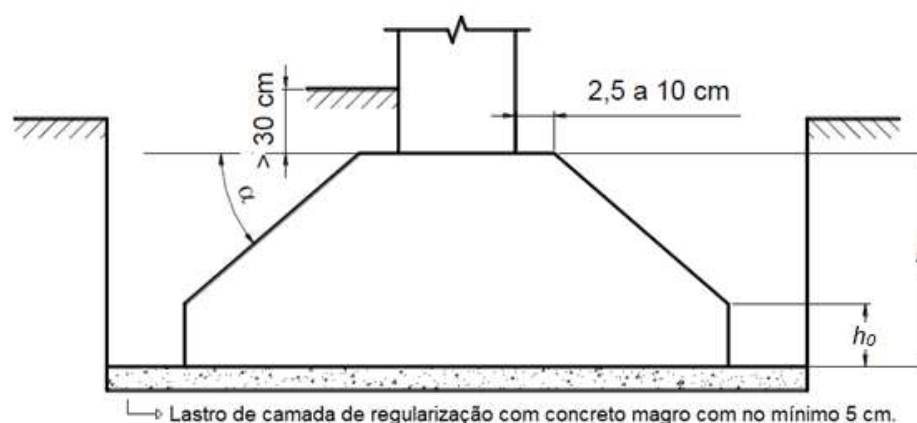
b_p – Lado do pilar na mesma direção do lado B da sapata.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) ainda preconiza que na maioria dos casos, as sapatas comportam-se como rígidas, todavia em alguns tipos de solos especiais com materiais de 3ª categoria como os solos rochosos, o comportamento estrutural das sapatas deve ser revisto. A mesma norma ainda cita que as sapatas rígidas são as preferidas, já que possuem pouca deformação e são menos sujeitas a romperem por punção. Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), é possível uma sapata sofrer punção oriunda do pilar, todavia essa consideração é utilizada para elementos flexíveis, já que nos rígidos a sapata estará dentro do cone de punção.

2.5 Considerações construtivas

Para um adequado dimensionamento estrutural é necessário entender os processos construtivos relacionados às sapatas isoladas. Assim, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019) para fundações diretas a profundidade de escavação deve ser, no mínimo, 30 centímetros acima da cota de alocação do elemento estrutural prevista em projeto. A mesma norma cita, ainda, que se deve prover um lastro de concreto magro de no mínimo 5 centímetros entre a base da sapata e o solo para regularização da superfície de assentamento. Bastos (2019) comenta que se deve considerar no topo da sapata uma espessura além das dimensões do pilar variando de 2,5 a 10 centímetros, os quais correspondem ao apoio das fôrmas de concretagem do pilar. Os detalhes construtivos podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13 – Detalhamento de considerações construtivas



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

Além disso, Bastos (2019) ainda cita que a altura h_0 (Figura 13) deve-se executar as faces externas em superfície vertical. Ademais, o ângulo α (Figura 13) de inclinação da face da sapata deve, preferencialmente, seja menor ou igual a 30° para que seja evitado o uso de fôrmas nas superfícies inclinadas, já que aproxima-se do ângulo de atrito do concreto convencional, evitando o deslizamento do mesmo (CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M., 2009, p. 460). O mesmo autor defende que o uso de concretos auto adensáveis ou de maiores fluidez, ainda necessitam do uso das fôrmas. Assim, a altura da base da sapata (h_0) deverá ser:

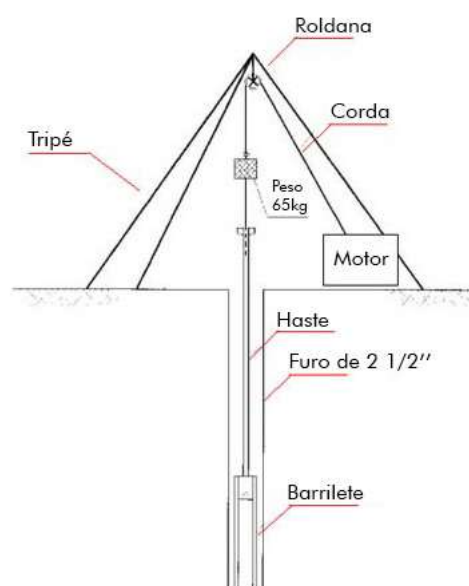
$$h_0 \geq \begin{cases} h/3 \\ 15 \text{ cm} \\ h - (A - a_p) \cdot \tan(30^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

isto é, o maior valor entre 1/3 da altura total (h), 15 cm ou ainda uma terceira restrição referente à limitação construtiva com ângulo 30° . O respeito às restrições é necessário para que seja evitado a ruptura nas abas da sapata e o uso de fôrmas na concretagem do elemento estrutural.

2.6 Estudo geotécnico

Para o dimensionamento é primordial conhecer o tipo de solo que será apoiado o elemento de fundação. Além das características químicas e classificação do solo, é necessário conhecer a resistência do solo na cota de assentamento da fundação. Assim, para determinar os parâmetros do solo, dentre outros, pode-se utilizar as sondagens de simples reconhecimento com SPT (*Standard Penetration Test*). A NBR 6484 (ABNT, 2001) exemplifica que o método de ensaio SPT objetiva encontrar a posição do nível d'água no terreno, determinar os tipos de solos traçando perfis de acordo com a profundidade e expressar os índices de resistência à penetração (N) a cada metro. A Figura 14 mostra a aparelhagem utilizada em campo para determinar tais características.

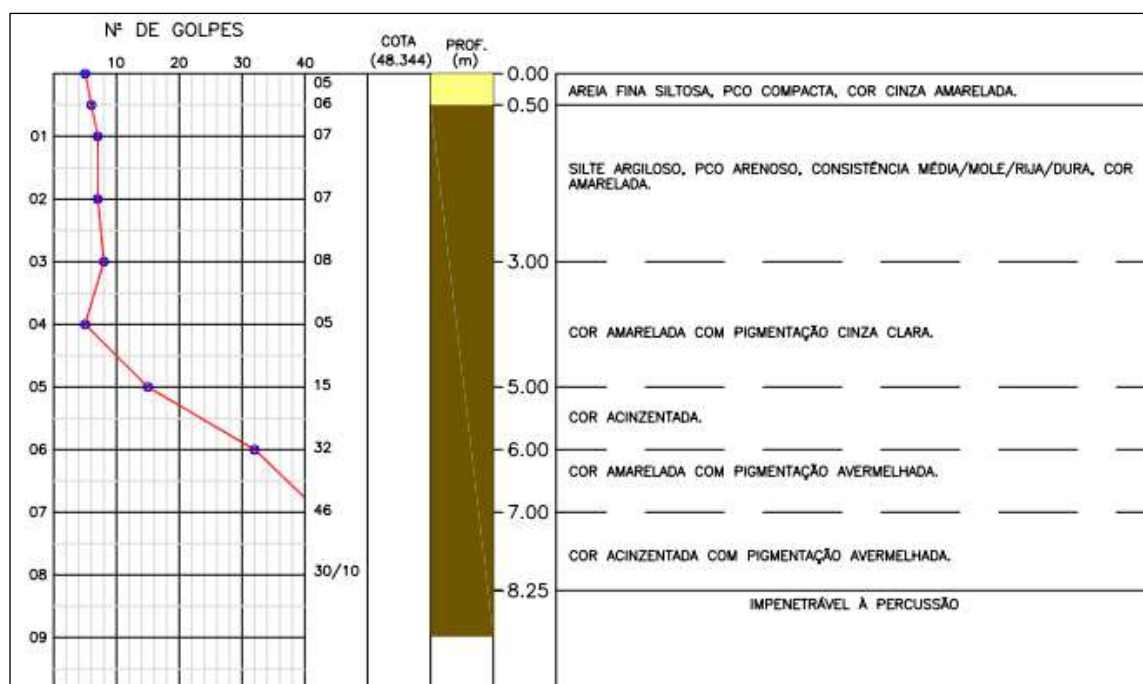
Figura 14 – Desenho esquemático de aparelhagem



Fonte: Viana (2018).

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001, p.2), a resistência à penetração “N” é dada “pela cravação de 30 centímetros do amostrador padrão, após a cravação inicial de 15 centímetros”. Assim, a resistência à penetração na cota consiste na soma da quantidade de número de golpes da segunda e terceira cravação de 15 cm após a inserção de 45 cm no terreno (ABNT, 2001, p.13). A mesma norma exemplifica que os resultados são expressos em frações obtidas nas três etapas em que o numerador representa o número de golpes e o denominador consiste na profundidade em centímetros que foi cravada. A Figura 15 mostra uma exemplificação de resultado do ensaio SPT.

Figura 15 – Exemplo de perfil geotécnico

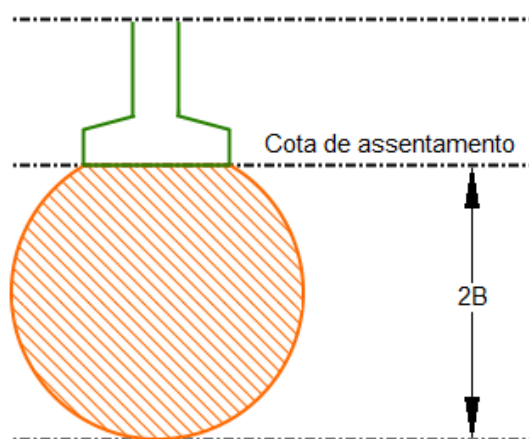


Fonte: Acervo do autor (2020).

É importante entender que, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), existem três métodos para se determinar a tensão admissível no estado limite último (ELU), estes são a prova de carga sobre placa; métodos teóricos e métodos semiempíricos. O ensaio supracitado não é o único utilizado para determinar os parâmetros do solo. Todavia, devido à sua facilidade e baixo custo, é o ensaio geotécnico mais utilizado e difundido no Brasil e no mundo (GALVIS, 2015). Esse valor é de suma importância uma vez que pode ser utilizado para determinar a tensão admissível do solo pelo método semiempírico proposto pela NBR 6122 (ABNT, 2019)

na faixa estudada de acordo com o tipo de solo através de métodos que correlacionem o número N_{SPT} com o a tensão admissível do solo. A partir dos dados do ensaio de SPT, autores como Cintra (2011) e Alonso (2019), bem como em meio técnico, é adotado um bulbo de tensões referente a duas vezes a largura da sapata (B) como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Bulbo de tensões na base da fundação



Fonte: Adaptado de Longo (2019).

Assim, a partir da cota de assentamento, utiliza-se a média aritmética dos resultados de SPT a cada metro dentro do bulbo de tensões (LONGO, 2019). Ademais, Cintra, Aoki e Albiero (2011) preconizam que com o valor N_{SPT} médio obtido pode-se estimar a tensão admissível do solo (σ_{adm}) através de:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} \quad (3)$$

2.7 Sapata com carga centrada

2.7.1 Cálculo das dimensões da sapata

Após adquirir dados da tensão admissível do solo e entender os parâmetros construtivos da sapata, é possível iniciar o dimensionamento estrutural do elemento. Antes, é importante frisar que o dimensionamento estrutural de sapatas pode ser feito por diferentes métodos, entre eles, cita-se o método das bielas e tirantes citado pela NBR 6122 (ABNT, 2019), além do método proposto pelo Comité Euro-Internacional

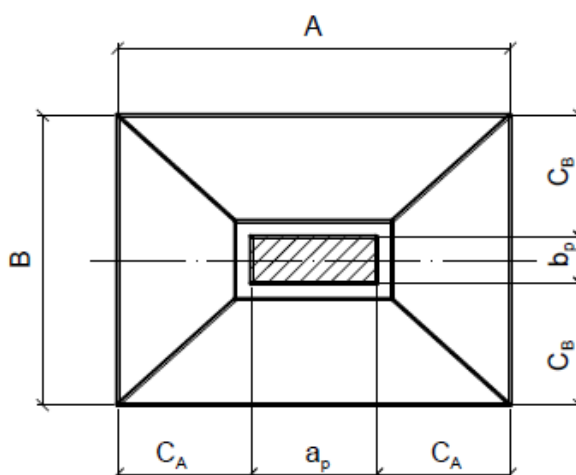
du Béton, o CEB (1970) (BASTOS, 2019). O presente trabalho adota as considerações presentes no Boletim número 73 método CEB (1970)

Para iniciar o dimensionamento é necessário estimar a área da base da sapata. A área pode ser determinada quando se divide a força normal oriundas do pilar (N_k) pela tensão admissível do solo (σ_{adm}). Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), deve ser acrescido da carga permanente vertical no mínimo 5% sobre a carga para estimar o peso da sapata. Autores como Alva (2007) e Campos (2015) estimam que o peso próprio da sapata compreende de 5 a 10% da força normal transmitida pelo pilar. Assim, para se determinar a área da sapata faz-se:

$$A_{sapata} = \frac{1,05 N_k}{\sigma_{adm}} \quad (4)$$

Desse modo, é preciso determinar as dimensões iniciais da sapata isolada. Bastos (2019) cita que para garantir que a sapata se adeque de acordo com o perfil do pilar além de garantir taxas de armaduras e momentos fletores com valores próximos, deve-se buscar prover balanços iguais nas abas da sapata. Assim, os valores dos balanços (C_A e C_B), devem ser de modo que $C_A \approx C_B$ representados na Figura 17.

Figura 17 – Sapata isolada em planta



Fonte: Bastos (2019).

Onde:

A – Lado da sapata em uma direção;

a_p – Lado do pilar na mesma direção do lado A da sapata;

B – Lado da sapata na outra direção;

b_p – Lado do pilar na mesma direção do lado B da sapata;

C_A – Balanço correspondente ao lado A da sapata;

C_B – Balanço correspondente ao lado B da sapata

Desse modo, fazendo-se $C_A \approx C_B$ tem-se:

$$A - a_p = B - b_p \quad (5)$$

De forma análoga aos balanços da sapata, tem-se que a área de aço na direção A ($A_{s,A}$) é aproximadamente similar a área de aço na direção B ($A_{s,B}$) (BASTOS, 2019). Segundo Alva (2007), nem sempre é possível obedecer aos critérios de balanços iguais em uma sapata, já que podem ocorrer limitações quanto ao posicionamento bem como a alocação do elemento de fundação. O mesmo autor cita, ainda, que caso não seja possível garantir abas iguais, o dimensionamento não é prejudicado desde que as dimensões escolhidas sejam suficientes para respeitar a tensão admissível do solo.

Dado a definição proposta dos balanços iguais, pode-se encontrar as dimensões ideais da sapata para princípios de pré-dimensionamento estrutural. Assim, sabe-se que a área da sapata é dada pela multiplicação de suas dimensões (A e B), logo:

$$A_{sapata} = A \cdot B \quad (6)$$

Utilizando-se as Equações (5) e (6) como componentes de um sistema, rearranjando-as e efetuando as devidas operações matemáticas de substituição tem-se:

$$B = \frac{1}{2}(b_p - a_p) + \sqrt{\frac{1}{4}(a_p - b_p)^2 + A_{sapata}} \quad (7)$$

Conforme os resultados das dimensões obtidos pela Equação (7) deve-se verificar se as dimensões encontradas são superiores a 60 cm conforme a NBR 6122 (2019). Bastos (2019) recomenda que a menor dimensão do elemento de sapata deve ser no mínimo 80 cm e que os valores encontrados de A e B devem, para facilidades construtivas, serem múltiplos de 5 cm.

Após a determinação das dimensões da sapata deve-se encontrar a altura da sapata (h) para elemento rígido conforme a Equação (1), além de encontrar a altura da base (h_0) de acordo com a Equação (2). Segundo Bastos (2019) a altura útil da sapata (d) é definida por:

$$d = h - c_{conc} - \frac{\phi_l}{2} \quad (8)$$

onde:

d – Altura útil da sapata

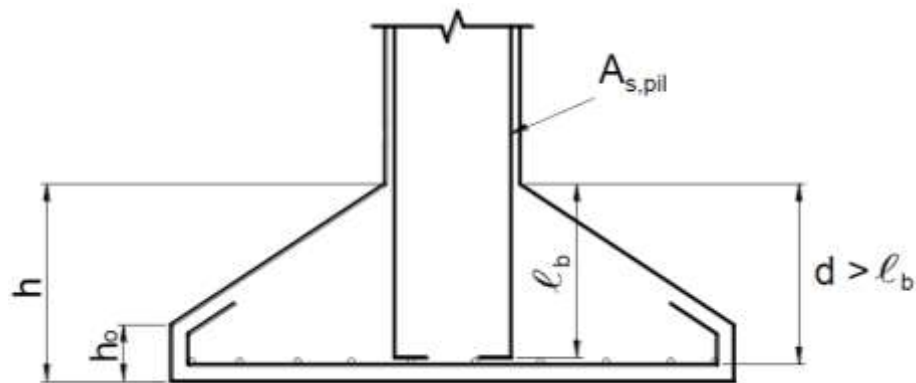
h – Altura da sapata

c_{conc} – Cobrimento da sapata

ϕ_l – Diâmetro da armadura de flexão

Bastos (2019) preconiza que a altura útil deve ser suficiente de modo a possibilitar a ancoragem da armadura de arranque do pilar (λ_b) mostrada na Figura 18.

Figura 18 – Altura útil mínima da sapata e outras notações



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

Com os parâmetros supracitados encontrados, determina-se, sabendo que o peso específico do concreto armado $\gamma_{ca} = 25 \text{ KN/m}^3$, o real peso da sapata e sua contribuição junto à carga (N_K) proveniente do pilar com:

$$P_{sapata} = 25 \cdot \left[h_0 A_s + \frac{(h - h_0)}{3} (A_s + A_p + \sqrt{A_s A_p}) \right] \quad (9)$$

onde:

A_s – Área da sapata

A_p – Área do pilar

h – Altura total da sapata

h_0 – Altura da base da sapata

Assim, com o verdadeiro peso da sapata pode-se proceder de modo a definir a real tensão efetiva da sapata no solo de modo semelhante a Equação (4), porém sem aplicar nenhuma estimativa para a carga da fundação, já que esta foi devidamente calculada e procedendo a determinação das dimensões da sapata, bem como de seus parâmetros construtivos em um processo iterativo. Dessa forma a real área da sapata é dada por:

$$A_{sapata} = \frac{(P_{sapata} + N_k)}{\sigma_{adm}} \quad (10)$$

Após a determinação das dimensões reais da fundação, deve-se recalculer a altura necessária da sapata (h) para ser considerada rígida conforme a Equação (1), bem como verificar a sua altura da base (h_0) de acordo com a Equação (2) arredondando os valores para múltiplos de 5 cm devido a facilidades construtivas (BASTOS, 2019). Se os limites dos parâmetros estiverem totalmente respeitados, deve-se calcular a altura útil (d) e verificar se esta é superior ao comprimento de ancoragem da armadura de arranque do pilar. Após todas as verificações acima validadas, pode-se proceder para as próximas etapas de dimensionamento das armaduras.

2.7.2 Considerações do método CEB (1970)

Para que o método de dimensionamento de sapatas rígidas proposto no Boletim nº 73 do CEB (1970) seja aplicado, o elemento de fundação deve obedecer à parâmetros geométricos pré-estabelecidos. Assim, o tamanho da aba do elemento de fundação (c) deve ser:

$$\frac{h}{2} \leq c \leq 2h \quad (11)$$

em que:

h – Altura da sapata;

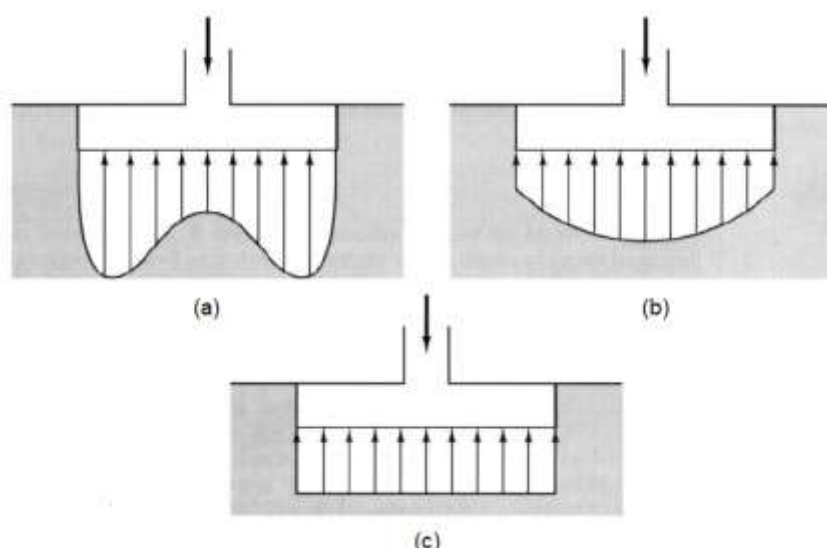
c – Comprimento do balanço da sapata

Bastos (2019) preconiza que se $c > 2h$, isto é, o tamanho do balanço da sapata for superior a duas vezes sua altura, o elemento pode ser considerado como uma viga ou uma placa e, assim, ser dimensionada conforme as respectivas teorias.

O mesmo autor cita que o método não pode ser aplicado para casos em que a aba da sapata é pequena, ou seja, quando $c < h/2$, já que é considerado um bloco de fundação.

Além disso, o método do CEB (1970) considera que as reações na superfície de apoio da sapata são planas. Desse modo, desconsidera-se a influência da força de atrito para o cálculo das armaduras da fundação. A Figura 19 mostra a representação real da distribuição de tensões da sapata rígida em argila (a), em areia (b) e a forma simplificada do método CEB – 70 (c).

Figura 19 – Representação de distribuição de cargas real e simplificada



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

2.7.3 Verificação da tensão de cisalhamento no concreto

A NBR 6118 (ABNT, 2014) preconiza que deve ser feito uma verificação quanto à tensão resistente de compressão diagonal do concreto na superfície crítica C. A mesma norma afirma que a superfície crítica C é correspondente ao perímetro do pilar ou da carga centrada nele. Para tal verificação calcula-se a tensão de cisalhamento resistente do concreto, a qual deve ser superior à tensão de cisalhamento atuante na compressão diagonal. Assim tem-se:

$$\frac{V_{\ell}}{u_p d} \leq 0,27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad (12)$$

onde:

V_ℓ – Corresponde a força cortante no perímetro do pilar;

u_p – É o perímetro ao longo do contorno do pilar;

d – É a altura útil da sapata;

f_{ck} – Equivale a resistência característica do concreto à compressão;

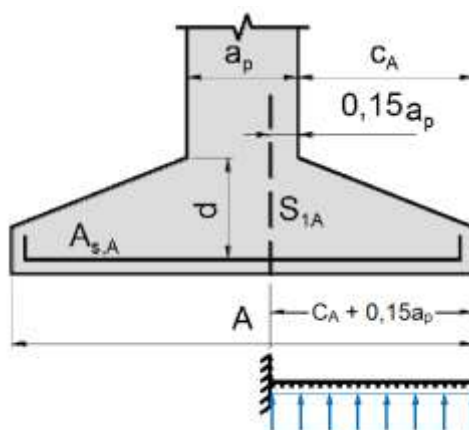
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

2.7.4 Cálculo dos momentos resultantes pelo CEB – 70

O método do CEB (1970) preconiza que para ser realizado o cálculo dos momentos fletores de cada direção deve-se considerar uma seção de referência para cada lado da sapata (S_{1A} ou S_{1B}) que seja totalmente plana e perpendicular à superfície interna do pilar com distância de 15% da dimensão do pilar da face externa deste. Assim, a sapata pode ser aproximada a um elemento estrutural similar como resultado desta aproximação (BASTOS, 2019). Para o mesmo autor o cálculo da armadura de flexão perpendicular à seção é o mesmo como nas vigas engastadas de flexão simples.

Para representação da explicação anterior a Figura 20 mostra um dos lados da sapata e sua aproximação de cálculo por meio de uma viga engastada onde o momento fletor calculado para esta viga é aproximadamente igual ao da sapata nesse eixo. A carga representada na viga engastada da Figura 20 é referente à reação do solo na base da sapata nesta região.

Figura 20 – Representação de cálculo de momentos pelo CEB – 70



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

De acordo com Bastos (2019), o momento fletor deve ser feito nas duas direções (S_{1A} e S_{1B}) da sapata e o que o maior momento fletor deve ser pelo menos cinco vezes o valor do menor momento fletor. Considerando as definições supracitadas têm-se que as seções de referência tomam por base os valores das abas das sapatas em ambas as direções que são:

$$c_A = \frac{A - a_p}{2} ; c_B = \frac{B - b_p}{2} \quad (13)$$

De forma análoga, a tensão que a sapata exerce sobre o solo (P) dar-se por:

$$P = \frac{N_{k,real}}{A \cdot B} \quad (14)$$

Como representado na Figura 20 as distâncias equivalentes das vigas engastadas para o cálculo dos momentos fletores na sapata em ambos os lados são dadas por:

$$x_A = c_A + 0,15a_p \quad (15)$$

$$x_B = c_B + 0,15b_p \quad (16)$$

onde:

x_A – Comprimento de cálculo no lado A

x_B – Comprimento de cálculo no lado B

c_A – Tamanho da aba da sapata no lado A

c_B – Tamanho da aba da sapata no lado B

a_p – Dimensão a do pilar

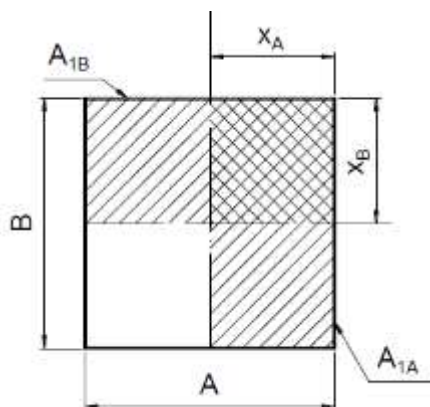
b_p – Dimensão b do pilar

Assim, pode-se calcular as áreas de influência A_{1A} e A_{1B} (Figura 21) consideradas no cálculo do momento fletor nas duas direções através de:

$$A_{1A} = x_A \cdot B \quad (17)$$

$$A_{1B} = x_B \cdot A \quad (18)$$

Figura 21 – Áreas de influência para cálculo de momentos fletores



Fonte: Bastos (2019).

Com isso, já que a força equivale à multiplicação da tensão pela área de influência, pode-se obter as reações resultantes, representadas na Figura 22, no solo por

$$R_{1A} = p \cdot A_{1A} = p \cdot x_A \cdot B \quad (19)$$

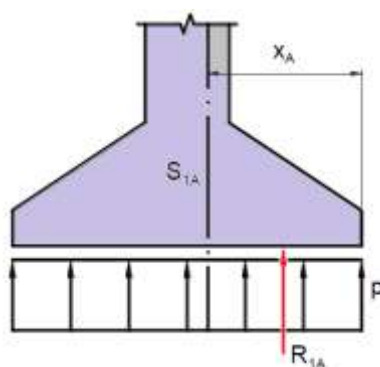
$$R_{1B} = p \cdot A_{1B} = p \cdot x_B \cdot A \quad (20)$$

onde:

R_{1A} – Reação de apoio resultante no lado A da sapata.

R_{1B} – Reação de apoio resultante no lado B da sapata.

Figura 22 – Força de reação do solo em um lado da sapata



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

Com isso, encontra-se os momentos fletores característicos de acordo com às seções de referência supracitadas (S_{1A} e S_{1B}) pela multiplicação das reações de apoio (R_{1A} e R_{1B}) pelos respectivos braços de alavanca gerados (x_A e x_B), resultando em:

$$M_{1A,k} = p \cdot \frac{x_A^2}{2} \cdot B \quad (21)$$

$$M_{1B,k} = p \cdot \frac{x_B^2}{2} \cdot A \quad (22)$$

Por fim, deve-se encontrar a área de aço para cada direção da sapata de acordo com os momentos fletores encontrados anteriormente. Normalmente, deve-se encontrar a linha neutra da seção e, assim, encontrar o braço de alavanca (z) que corresponde à subtração da altura útil (d) por 40% da posição da linha neutra (x) (ABNT, 2014). Todavia, devido à formatação trapezoidal da sapata, a equação da linha neutra torna-se de 3º grau. Dessa forma, o cálculo do braço de alavanca pode ser aproximado de forma a facilitar o dimensionamento para 85% do valor da altura útil da sapata com Machado (1985 *apud* BASTOS, 2019, p. 28). Então as áreas de aço final para as direções da sapata, considerando o coeficiente de majoração de cargas do concreto sendo 1,4, são dadas por

$$A_{s,A} = \frac{M_{1A} \cdot 1,4}{0,85 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (23)$$

$$A_{s,B} = \frac{M_{1B} \cdot 1,4}{0,85 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (24)$$

2.8 Sapata com momento fletor aplicado

Além das sapatas com carga centrada, as cargas provenientes dos pilares podem ser aplicadas excentricamente ao centro de gravidade da sapata, existindo momentos fletores em uma ou duas direções no elemento de fundação (ALVA, 2007). Assim, o cálculo da tensão gerada no solo torna-se diferente e deve ter especial atenção, principalmente, se houver esforços de tração na base da sapata, fato que deve, ao máximo, ser evitado.

Ressalta-se que um sólido possui centro de gravidade de acordo com suas características geométricas e que há regiões da sapata, denominada Núcleo Central de Inércia (NCI), que as cargas, quando aplicadas, geram somente esforços de compressão em toda a superfície do material (MASCIA, 2018).

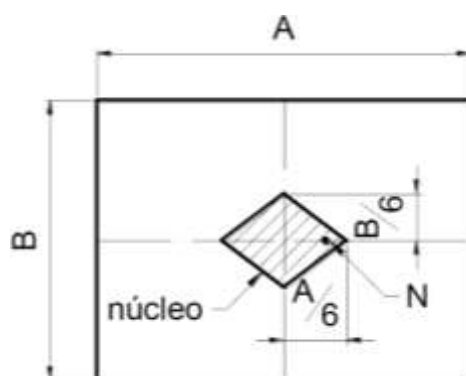
Como dito, de preferência, deve-se evitar esforços de tração na base do elemento de fundação, assim deve-se verificar se as excentricidades (e_x , e_y) dadas por

$$e_A = \frac{M_A}{N_k} ; e_B = \frac{M_B}{N_k} \quad (25)$$

estão dentro do NCI.

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009) o limite do NCI depende do comprimento dos lados da sapata e seus limites formam um losango, quando retangulares, em que a distância de seu centro às extremidades é limitada pela divisão do lado correspondente por seis. Além disso, o mesmo autor cita que a tensão máxima difere de acordo com a posição da carga, se dentro ou na extremidade do núcleo. A Figura 23 representa a disposição do Núcleo Central de Inércia.

Figura 23 – Representação do Núcleo Central de Inércia



Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

A determinação das tensões máximas e mínimas correspondentes ao NCI, dependem da posição relativa da carga de acordo com a excentricidade em cada direção. Desse modo, acrescenta-se à equação de tensão (σ_{sap}) parcelas correspondentes às excentricidades existentes resultando em:

$$\sigma = \frac{N_k}{A \cdot B} \pm \frac{M_B \cdot y}{I} \pm \frac{M_A \cdot x}{I} \quad (26)$$

onde:

σ – Tensão transmitida da sapata ao solo;

N_k – Carga suportada pela sapata;

A – Lado da sapata em uma direção;

B – Lado da sapata na outra direção;

M_A – Momento em A;

M_B – Momento em B;

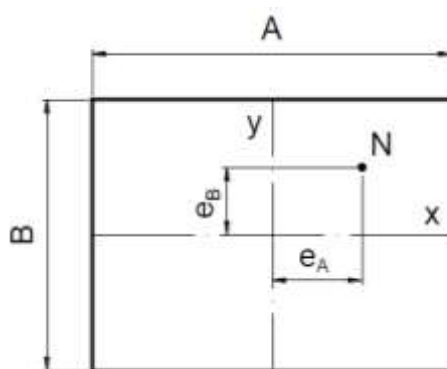
x e y – Distâncias do eixo neutro até o ponto de tensão máxima.;

I – Momento de Inércia.

Bastos (2019), cita que o valor da tensão máxima deverá ser inferior à tensão admissível do solo.

Como deseja-se obter as tensões máxima e mínima, pode-se efetuar substituições matemáticas a fim de tornar a obtenção das tensões mais diretas e relacionadas com a excentricidade existente em cada direção. A Figura 24 mostra uma aplicação de carga (N) e suas respectivas excentricidades (e_A e e_B).

Figura 24 – Excentricidades relativas à uma carga pontual



Fonte: Bastos (2019).

Assim, deseja-se que a carga esteja dentro do núcleo central de inércia para que a seção esteja totalmente comprimida. Desse modo, o limite do NCI se dá pela soma das divisões das excentricidades pelos lados correspondentes, isto é:

$$\frac{e_A}{A} + \frac{e_B}{B} \leq \frac{1}{6} \quad (27)$$

Caso não exista alguma excentricidade em um dos lados, a relação se mantém e deve-se substituir a inexistente por zero (ALVA, 2007). Baseado na equação anterior, efetua-se operações matemáticas de substituição na Equação (26) e obtém-se:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A \cdot B} \left[1 + \frac{6e_A}{A} + \frac{6e_B}{B} \right] \quad (28)$$

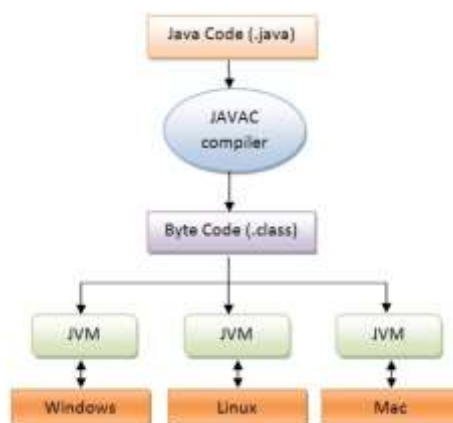
$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{N}{A \cdot B} \left[1 - \frac{6e_A}{A} - \frac{6e_B}{B} \right] \quad (29)$$

3 METODOLOGIA

O uso da programação como auxílio em cálculos estruturais é muito importante, pois possibilita que operações iterativas sejam feitas de modo ágil e simples com o uso dos processadores computacionais. Assim, o presente trabalho caracteriza-se por desenvolver uma aplicação para sistema *Android* utilizando a linguagem *Java* da empresa Oracle®. Este trabalho configura-se como uma pesquisa qualitativa, descritiva e bibliográfica. Ademais, o presente trabalho delimita-se ao dimensionamento de sapatas rígidas isoladas com ou sem momentos fletores pré-aplicados.

Entender como e onde será implementado o método de dimensionamento de sapatas rígidas isoladas é essencial para desenvolver a aplicação. A linguagem *Java*, utilizada no presente trabalho, é muito utilizada no mundo e tem como característica principal ser lida por todos os sistemas operacionais utilizando apenas um único código fonte através da *Java Virtual Machine (JVM)* (ROMANATO, 2013). Esta plataforma possui um compilador (JAVAC) que transforma o código fonte em um *ByteCode* para ser lido pela JVM, que possui uma transcrição para cada sistema operacional como mostra a Figura 25 (ROMANATO, 2013).

Figura 25 – Etapas da execução de um código *Java*



Fonte: Romanato (2013).

A linguagem *Java* utiliza-se da Programação Orientada a Objetos (POO) que permite maior facilidade e flexibilidade de manutenção do código (GASPAROTTO, 2014). A POO utiliza-se da abstração para criar modelos baseados

no mundo real e é nativa do *Java* tornando-se muito importante para a independência das classes e a reutilização do código (GASPAROTTO, 2014).

A construção de aplicativos com uso do *Java* é auxiliado pelo programa *Android Studio*. Neste, é possível ver a interface do aplicativo à medida que este é construído devido a presença de uma interface gráfica. Além disso, a presença de uma *Integrated Development Environment* (IDE) ou, em tradução livre, um Ambiente de Desenvolvimento Integrado, é possível identificar erros no código antes de sua execução, além de simplificar a escrita das funções deste, agilizando assim o trabalho de construção do aplicativo como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Exemplo do ambiente do *Android Studio*



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Baseado nas instruções e facilitações do ambiente utilizado, o dimensionamento das sapatas isoladas será diferente para as condições que o usuário aplicar dentro do programa. Assim, as etapas de cálculo serão um pouco diferentes para sapatas apenas com carga centrada, bem como com momentos aplicados em uma ou duas direções.

De modo geral, o planejamento da presente pesquisa foi realizado de forma sequencial partindo do aprendizado sobre o dimensionamento de sapatas rígidas isoladas, linguagem de programação *Java* e uso do *software Android Studio* com a consequente construção da aplicação e a utilização de exemplos para a validação dela. Assim, a Figura 27 apresenta a sequência de etapas tomadas para o desenvolvimento final do presente trabalho.

Figura 27 – Etapas da pesquisa



Fonte: Acervo do autor (2020).

Ao abrir a aplicação o usuário deverá colocar dados como a carga transmitida (N_k), as dimensões do pilar (a_p e b_p), a tensão admissível do solo (σ_{adm}), a resistência do concreto (f_{ck}), o tipo de aço e cobrimento da armadura (c_{conc}), para as situações de cálculo existindo ou não momentos aplicados na sapata. Se o usuário desejar incluir momentos fletores iniciais, este deve habilitar o *switch* no final da página e, assim, aparecerá duas novas caixas para a colocação dos momentos fletores.

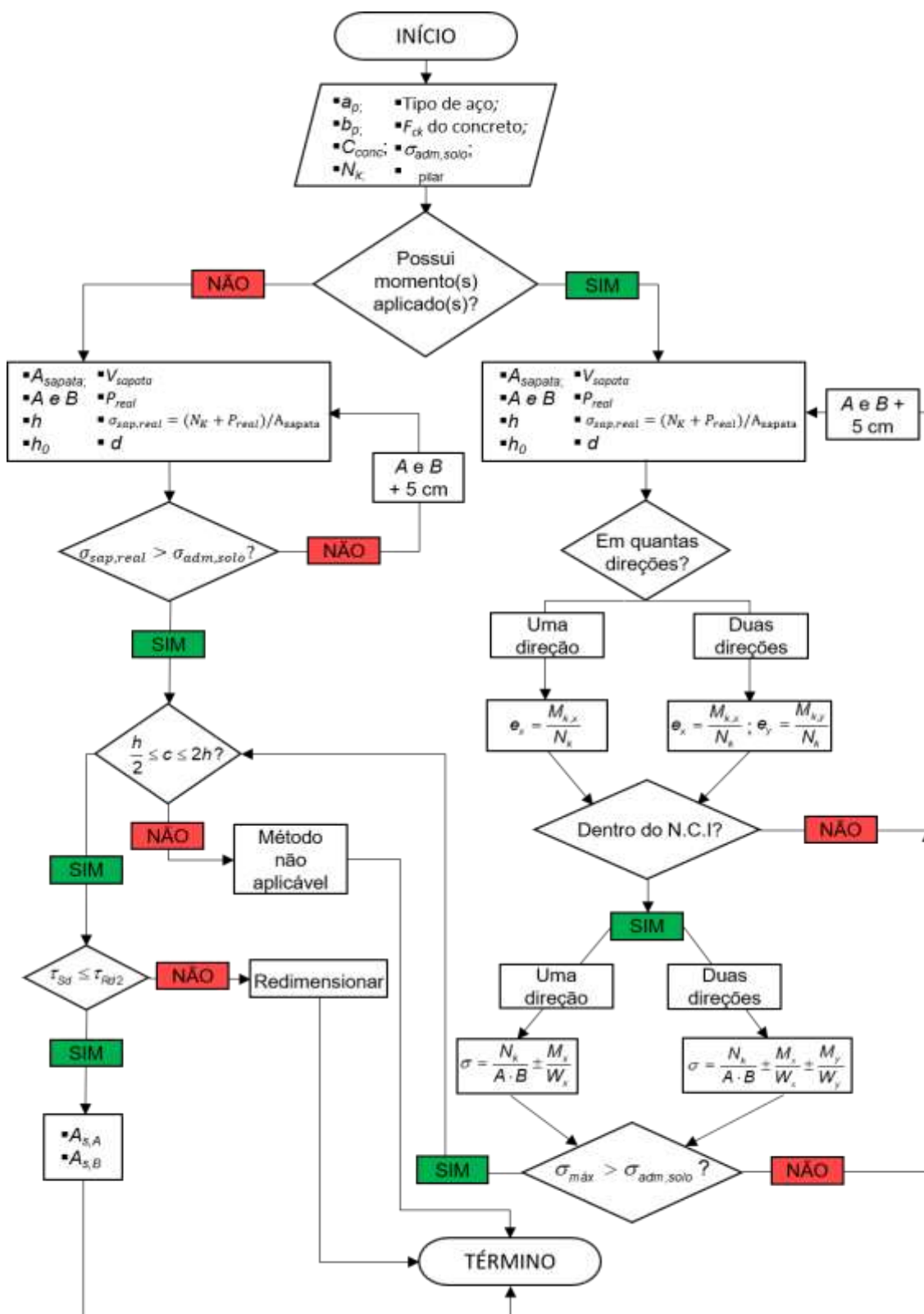
Ao entrar com os dados necessários e selecionar a opção dimensionar, o aplicativo irá realizar as etapas de cálculo discutidas no referencial teórico do presente trabalho. Ressalta-se que para as sapatas apenas com carga centrada, sempre que a tensão admissível do solo (σ_{adm}) for inferior à tensão efetiva real (σ_{real}) gerada pela sapata, adicionou-se 5 centímetros a cada lado (A e B), recalculando todos os parâmetros e reverificando até que a tensão do solo seja superior à tensão real aplicada.

Já para sapatas com momentos fletores aplicados, além da verificação de que tensão admissível do solo seja superior à tensão real, efetua-se a verificação da compressão total da sapata (Equação (27)), isto é, as excentricidades (e_A e e_B) devem estar dentro do núcleo central de inércia (NCI). Caso isso não ocorra, acrescenta-se os mesmos 5 centímetros a cada lado da sapata e recalcula-se todos os parâmetros da peça até que ambas as verificações sejam válidas. Os processos iterativos realizados podem ser resumidos de acordo com o fluxograma da Figura 28.

Diante métodos de dimensionamento de sapatas rígidas e isoladas mostrados pelo referencial teórico o presente trabalho, assim como o modelo de

cálculo utilizado no desenvolvimento do código fonte da aplicação, pode-se comparar exemplos de sapatas apenas com carga centrada.

Figura 28 – Fluxograma de funcionamento do aplicativo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Apresentação do aplicativo

Diante do estudo da revisão bibliográfica devidamente apresentada na seção de referencial teórico do presente trabalho, conseguiu-se desenvolver uma ferramenta para dispositivos móveis *Android* capaz de dimensionar sapatas rígidas e isoladas com ou sem momentos fletores pré-aplicados.

Face a isto, ao instalar a aplicação o usuário encontrará em sua biblioteca de aplicativos o ícone com a logo do programa (Figura 29) denominado de *Sapp – Dimensionamento de sapatas*.

Figura 29 – Representação do logotipo da aplicação



Fonte: Acervo do autor (2020).

Ao iniciar a aplicação, o usuário visualizará uma tela de boas-vindas, incluindo a logo da Figura 29, que apresenta uma breve apresentação, bem como a versão atual da aplicação. Além disso, encontra-se um botão intitulado “Começar” o qual permitirá o início da tela principal de dimensionamento, bem como o nome do desenvolvedor do programa no rodapé da página. A Figura 30 mostra a tela de boas-vindas da aplicação.

Figura 30 – Apresentação da tela de boas-vindas

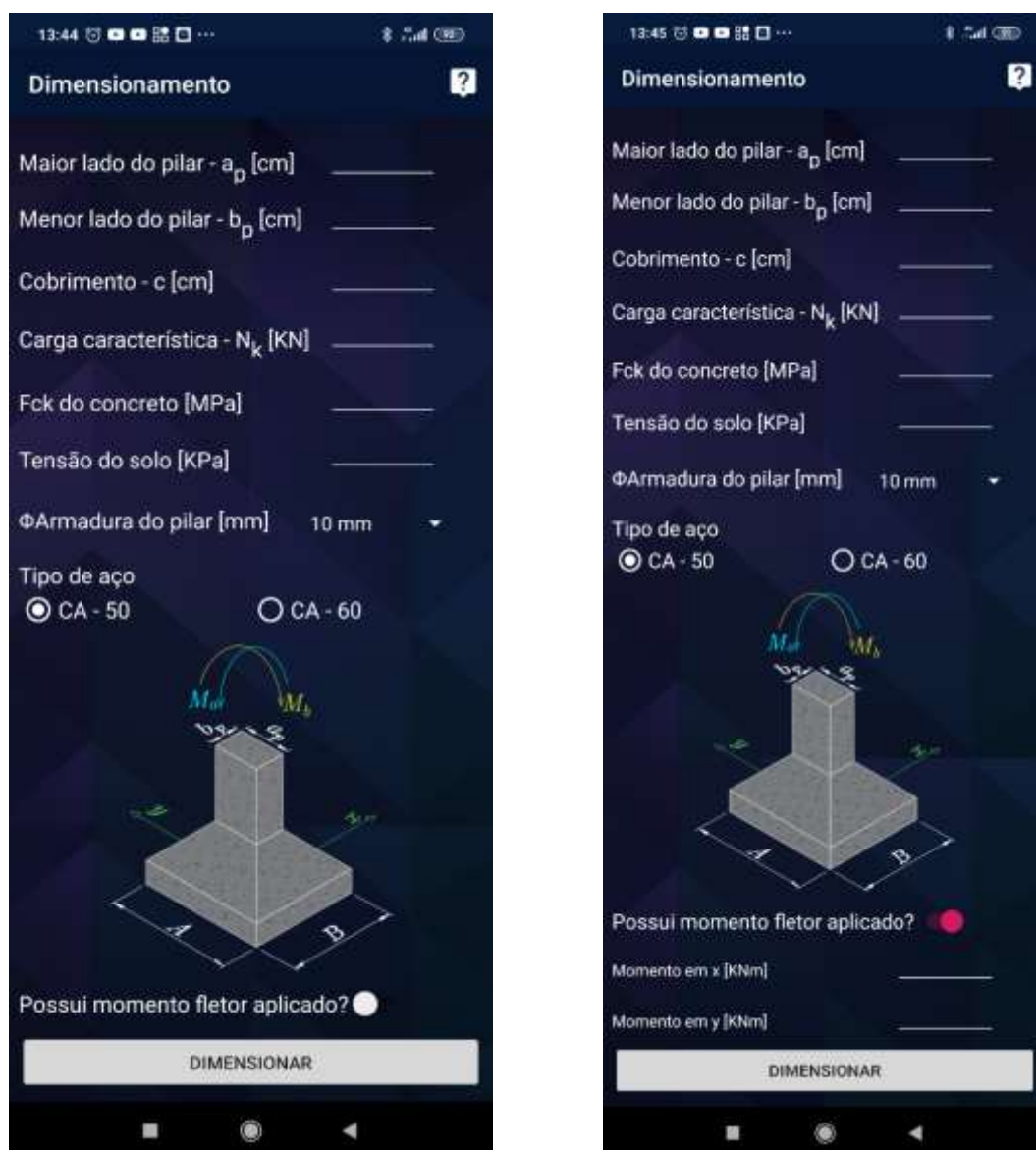


Fonte: Acervo do autor (2020).

Após pressionar o botão “Começar” o usuário iniciará a tela de dimensionamento. Nesta tela, o usuário deverá obrigatoriamente completar as caixas de texto referentes as características necessárias para o dimensionamento da peça. Tais como o maior lado do pilar (a_p), o menor lado do pilar (b_p), o cobrimento (c), a carga característica do pilar (N_k), o f_{ck} do concreto, a tensão admissível do solo (σ_{solo}), o diâmetro da armadura do pilar (ϕ) e o tipo de aço utilizado (CA-50 ou CA-60).

Se o usuário desejar incluir momentos fletores pré-aplicados, este deverá ligar o *switch* que, quando ativado, abrirá mais duas caixas de texto para a colocação dos valores dos momentos. A Figura 31 mostra a tela principal do programa sem e com a ativação do *switch*.

Figura 31 – Tela principal de dimensionamento do aplicativo



Fonte: Acervo do autor (2020).

Após completar corretamente os dados de entrada e selecionar, a aplicação irá dimensionar a sapata isolada rígida de acordo com os dados fornecidos considerando o modo considerado, isto é, se possuirá ou não momentos fletores aplicados previamente. De modo geral, a tela de apresentação das variáveis dos resultados são as mesmas, diferindo, claro, as etapas de cálculo necessárias para dimensionar as sapatas com e sem momentos fletores aplicados.

É importante frisar que o aplicativo não realiza a escolha da armadura para o usuário, mas sim mostra uma tabela com as bitolas comerciais, número de barras

daquela bitola, bem como o espaçamento necessário da mesma. A única intervenção da aplicação é uma proposta por Bastos (2019) que recomenda o espaçamento entre as barras estar entre 10 e 20 centímetros.

Assim, cabe ao usuário escolher de acordo com as informações mostradas qual será a melhor disposição das armaduras para cada lado da sapata. A Figura 32 mostra a tela de resultados padrão para ambos os tipos de dimensionamentos.

Figura 32 – Tela padrão de resultados finais

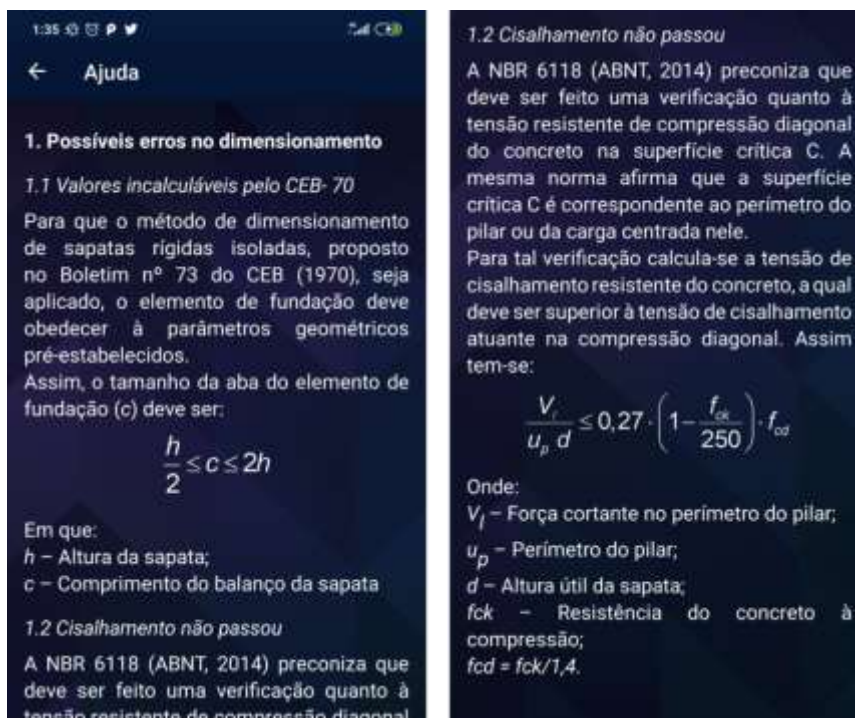


Fonte: Acervo do autor (2020).

Ademais, se em algum momento o usuário tiver dúvidas sobre como funciona as etapas de cálculo, bem como as representações dos resultados, esse poderá, a qualquer momento, apertar o botão de “Ajuda” localizado do lado direito da

barra de título de cada tela simbolizado por uma interrogação branca. A representação da tela de dúvidas com os métodos de cálculo é mostrada na Figura 33.

Figura 33 – Demonstração da tela de ajuda do aplicativo



Fonte: Acervo do autor (2020).

4.2 Validação do aplicativo

Para este trabalho a validação do aplicativo desenvolvido foi feita a partir da comparação de resultados obtidos de alguns exemplos de sapatas isoladas rígidas com e sem momentos fletores pré-aplicados apresentados por Bastos (2019). Assim, utilizou-se dos dados de entrada dos exemplos propostos para comparar-se os resultados obtidos pelo método manual proposto por Bastos (2019) e pelo *software SapForte* disponibilizado gratuitamente pela empresa TQS®.

Desse modo, procedeu-se primeiramente com a análise somente de sapata sob carga centrada, depois com somente um momento fletor pré-aplicado em uma direção e, por fim, com dois momentos fletores aplicados, isto é, sobre flexão oblíqua. Os resultados apresentar-se-ão nas seções adiante.

4.2.1 Exemplo 1 – Sapatas sob carga centrada

Para compor o primeiro exemplo de validação do modelo de carga centrada adotou-se os dados de entrada mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de entrada do exemplo 1

Variáveis	Valores
Maior lado do pilar – a_p (cm)	80
Menor lado do pilar – b_p (cm)	20
Cobrimento – c (cm)	4
f_{ck} do concreto (Mpa)	25
Carga característica – N_k (kN)	1250
Tensão do solo – σ (kPa)	260
Armadura do pilar – Φ (mm)	16
Tipo de aço	CA - 50

Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

Com base nas informações representadas na Tabela 1 utilizou-se os programas de cálculo citados anteriormente para efetuar as operações de dimensionamento. Assim, encontrou-se os resultados abordados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do exemplo 1 (Continua)

Variáveis	SapForte	Bastos	Sapp
Peso da sapata (kN)	125	125	46,04
Volume da sapata (m ³)	2,23	2,34	1,84
A (cm)	265	265	255
B (cm)	205	205	200
Área (cm ²)	54325	54325	51000
h_0 (cm)	25	25	20
h (cm)	65	70	60
d (cm)	61	65	55
l_b (cm)	47	42	42,19

Fonte: Acervo do autor (2020).

Tabela 2 – Resultados do exemplo 1 (Continuação)

Variáveis	SapForte	Bastos	Sapp
c_A (cm)	92,5	92,5	87,5
c_B (cm)	92,5	92,5	90
x_A (cm)	104,5	104,5	99,5
x_B (cm)	95,5	95,5	93
M_{1ad} (kNm)	396,63	360,53	352,23
M_{1bd} (kNm)	428,21	389,24	392,33
$A_{s,A}$ (cm ²)	17,59	15,01	17,329
$A_{s,B}$ (cm ²)	18,99	16,2	19,301

Fonte: Acervo do autor (2020)

Baseado nos resultados obtidos, notou-se que os valores gerais das variáveis foram próximos nos 3 modelos de cálculo. Percebeu-se, ainda, que o acréscimo de 10% sobre a carga oriunda do pilar para a estimativa do peso da sapata realizado por Bastos (2019) e no SapForte (o que resultou em 125 kN) foi de certa forma exagerado, uma vez que o peso real da sapata, calculado pelo aplicativo desenvolvido, foi cerca de 46,04 kN representando, assim, aproximadamente 3,712% de acréscimo à carga do pilar.

Destarte, os valores das dimensões da sapata foram menores, houve uma diminuição considerável no volume de concreto utilizado pelo elemento. Notou-se uma economia importante de 0,39 m³ por sapata em relação ao SapForte e de 0,50 m³ por sapata em relação ao Bastos (2019). Além disso, encontrou-se valores menores como a altura do espelho (h_0), a altura total da sapata (h) e a altura útil (d). Esta última resultou em 10 centímetros a menos de que o valor calculado por Bastos (2019) e 6 centímetros a menos do valor previsto pelo SapForte®.

Isso foi importante para o cálculo da armadura final, já que mesmo os valores dos momentos fletores da aplicação sendo bem próximos ao do Bastos (2019), foi necessário leve maior área de aço em ambas as direções pela menor altura útil encontrada. Analogamente, em relação ao SapForte®, os valores próximos das áreas de aço são justificáveis, pois os momentos fletores deram maiores em comparação com a aplicação desenvolvida, mas a altura útil calculada pela a aplicação foi ligeiramente menor. Assim, diante dos resultados para sapatas rígidas isoladas comparadas acima pôde-se validar essa etapa de cálculo.

4.2.2 Exemplo 2 – Sapata com um momento fletor pré-aplicado

Para o segundo exemplo de validação foi utilizado dados para uma sapata com um momento fletor aplicado no eixo y. Assim, os dados de entrada utilizados retirados de Bastos (2019) estão abordados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de entrada do exemplo 2

Variáveis	Valores
Maior lado do pilar – a_p (cm)	100
Menor lado do pilar – b_p (cm)	20
Cobrimento – c (cm)	4
f_{ck} do concreto (Mpa)	25
Carga característica – N_K (kN)	1600
Tensão do solo – σ (kPa)	300
Armadura do pilar – Φ (mm)	20
Tipo de aço	CA - 50
M_x (kNm)	0
M_y (kNm)	100

Fonte: Adaptado de Bastos (2019).

Analogamente ao exemplo de sapata centrada, utilizou-se os meios de cálculo abordados neste trabalho para realizar a análise comparativa dos resultados. Desse modo, obteve-se os valores expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do exemplo 2 (Continua)

Variáveis	SapForte	Bastos	Sapp
Peso da sapata (kN)	80	80	71,06
Volume da sapata (m ³)	2,748	3,305	2,640
A (cm)	295	300	300
B (cm)	216	220	220
Limite N.C.I	Dentro do NCI	Dentro do NCI	Dentro do NCI

Fonte: Acervo do autor (2020).

Tabela 4 – Resultados do exemplo 2 (Continuação)

Variáveis	SapForte	Bastos	Sapp
Área (cm ²)	63720	66000	66000
h ₀ (cm)	25	30	25
h (cm)	70	80	70
d (cm)	66	75	65
ℓ _b (cm)	62	53	52,74
c _A (cm)	97,5	100	100
c _B (cm)	98	100	100
x _A (cm)	112,5	115	115
x _B (cm)	101	103	103
M _{1ad} (kNm)	552,3639	540,59	515,66
M _{1bd} (kNm)	603,9799	540,1	564,08
A _{s,A} (cm ²)	22,65	19,5	21,47
A _{s,B} (cm ²)	24,76	19,49	23,48

Fonte: Acervo do autor (2020).

Diante dos resultados do exemplo 2, notou-se que estes também foram concordantemente próximos e, até iguais quando se comparou os resultados da aplicação desenvolvida com os do Bastos (2019). Nesse caso, o acréscimo de estimativa do peso da sapata sobre a carga do pilar adotado foi de 5% para Bastos (2019) e para o *SapForte*®. Equivalendo à 80 kN. Assim, percebeu-se que esse valor se tornou coerente frente ao resultado real calculado pelo *Sapp* que encontrou 71,06 kN de peso real do elemento de fundação o que corresponde à 4,41% de acréscimo sob a carga aplicada.

Dentre os cálculos efetuados pelos 3 modelos, todos apresentaram a sapata com carga aplicado dentro do Núcleo Central de Inércia (Equação (27)) significando que toda a superfície da sapata calculada está sobre compressão.

Os valores encontrados pelo *Sapp* foram praticamente os mesmos encontrados por Bastos (2019). Todavia, Bastos (2019) faz uma escolha sobre a altura da sapata, isto é, embora o cálculo do referido autor tenha resultado em uma altura (h) de 70 centímetros, o autor resolveu adotar uma altura de 80 centímetros. Assim, por causa disso, a altura útil (d) de Bastos (2019) foi 10 centímetros maior resultando numa leve menor área de aço encontrada e num considerável maior volume de

concreto do elemento. Notou-se, ainda, que entres os modelos de cálculo o programa *SapForte*® apresentou uma leve redução dos lados finais da sapata. Além disso, o *SapForte*® apresentou os maiores momentos fletores de projeto e, conseqüentemente, as maiores áreas de aço.

Identificou-se, mais uma vez, que o fato de o *Sapp* calcular o exato peso da sapata, as dimensões encontradas por este produzem o menor volume de concreto gasto com o elemento de fundação. Por fim, diante dos resultados analisados, verificou-se que os três modelos de cálculos se apresentaram totalmente coerentes validando assim o programa desenvolvido.

4.2.3 Exemplo 3 – Sapata sob flexão oblíqua

De modo análogo aos outros exemplos, para a validação adequada do dimensionamento de sapatas sujeita à flexão oblíqua, isto é, com dois momentos fletores pré-aplicados utilizou-se dados de Bastos (2019) para compor a presente exemplificação. A Tabela 5 mostra os valores utilizados para compor o exemplo 3.

Tabela 5 – Dados de entrada do exemplo 3

Variáveis	Valores
Maior lado do pilar – a_p	60
Menor lado do pilar – b_p	40
Cobrimento – c	4,5
f_{ck} do concreto	20
Carga característica – N_k	1040
Tensão do solo – σ	500
Armadura do pilar – Φ	20
Tipo de aço	CA – 50
M_x	280
M_y	190

Adaptado de Bastos (2019).

Outrossim, foi utilizado os dados da Tabela 5 nos modelos de cálculo abordados neste trabalho e obteve-se os resultados da Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do exemplo 2

Variáveis	SapForte	Bastos	Sapp
Peso da sapata (KN)	104	104	70,51
Volume da sapata (m ³)	1,296	2,296	2,820
A (cm)	165	220	265
B (cm)	145	200	245
Limite N.C.I	Fora do NCI	Fora do NCI	Dentro do NCI
Área (cm ²)	23925	44000	64925
h ₀ (cm)	40	35	25
h (cm)	70	75	70
d (cm)	66	70	65
l _b (cm)	62	61	61,19
c _A (cm)	52,5	80	102,5
c _B (cm)	52,5	80	102,5
x _A (cm)	61,5	89	119
x _B (cm)	58,5	86	116
M _{1ad} (kNm)	186,02	503,46	364,69
M _{1bd} (kNm)	191,46	459,01	373,52
A _{s,A} (cm ²)	7,63	19,46	15,18
A _{s,B} (cm ²)	7,85	17,74	15,55

Fonte: Acervo do autor (2020).

Baseado na exposição dos resultados demonstrados pela Tabela 6, notou-se uma diferença considerável entre as dimensões (A e B) da sapata calculada pelo *Sapp* comparado com *SapForte*® e uma singela discrepância com o do Bastos (2019). Isso se deu, pois inicialmente ao se calcular as excentricidades da sapata, esta encontra-se fora do núcleo central de inércia (Equação 27). Assim, cada vez que isso ocorrer, o aplicativo desenvolvido acrescentará 5 centímetros à cada um dos lados, recalculando todos os parâmetros até que seja satisfeito a condição de estar dentro do NCI, conforme abordado na metodologia do presente trabalho. Desse modo, Bastos (2019) e o programa *SapForte*® executam as etapas de cálculo permitindo que a sapata dimensionada possui regiões sujeitas à tração (fora do NCI), fato que não ocorre com o *Sapp*.

Ressalta-se que a existência de esforços de tração em elementos de fundação direta, no caso as sapatas, é ruim uma vez que esta trabalha apenas utilizando sua resistência de base, isto é, o apoio para com o solo. Logo, ao existir tração na sapata parte de seu apoio com o solo será inutilizado, pois tenderá ao tombamento.

Devido a essa diferença crucial das dimensões, a sapata dimensionada pelo *Sapp* apresentou, neste caso, maior volume de concreto dentre as demais, o que aumentaria o consumo de concreto em sapatas desse modelo. Porém, ainda apresentou menor peso total (70,51 kN) em comparação com os valores estipulados por Bastos (2019) e pelo programa *SapForte®* (104 kN).

Notou-se que mesmo com as dimensões maiores as alturas totais (h) e do espelho da sapata (h_0) apresentaram valores próximos e coerentes de cálculo. Vale acrescentar que no dimensionamento de Bastos (2019) a altura do espelho calculada foi de 25 centímetros, todavia este adotou 35 centímetros para diminuir verificações.

Ademais, ao comparar-se os valores dos momentos fletores de projeto (M_{1ad} e M_{1bd}) e as áreas de aço ($A_{s,A}$ e $A_{s,B}$) do aplicativo *Sapp* e de Bastos (2019) percebeu-se uma pequena proximidade que pode ser justificada pelas diferentes notações das dimensões e características calculadas. Já ao se comparar Bastos (2019) e o aplicativo *Sapp* com o *SapForte®*, notou-se uma forte discrepância nos momentos fletores de projeto e, conseqüentemente nas áreas de aço necessárias para compor a sapata calculada o que é justificável pela diferença entre as dimensões encontradas e pela possibilidade de dimensionamento fora do NCI neste último.

5 CONCLUSÃO

O uso da programação é muito importante nos dias atuais principalmente quando usada para desenvolver ferramentas de auxílio nos dimensionamentos de peças estruturais na engenharia. Desse modo, viu-se que a concepção de uma aplicação para celulares capaz de dimensionar rapidamente uma sapata rígida e isolada com ou sem momentos fletores pré-aplicados torna-se muito útil tanto para o dia-a-dia do profissional quanto para os alunos que estão estudando o referido conteúdo.

Ademais, o presente trabalho foi altamente enriquecedor, uma vez que estimulou o aprendizado de uma linguagem de programação de alto nível (*Java*), bem como a aplicação desta na engenharia civil. Então, ficou claro que a programação é muito importante para o nível tecnológico do mundo atual, já que simplifica processos, atividades e trabalhos repetitivos sendo seu estudo fato crucial em qualquer tipo de graduação.

Outrossim, o presente trabalho buscou refutar que todo cálculo estrutural, quando recebe o reforço de uma ferramenta computacional, torna-se menos cansativo e principalmente mais preciso, já que é possível a realização de inúmeras modelos e iterações, que seriam impraticáveis à mão livre, em milésimos de segundo.

Ressalta-se que o aprendizado da linguagem de programação *Java* foi de extrema importância para a continuidade do trabalho, uma vez que possibilitou o desenvolvimento do aplicativo com o uso da programação orientada a objetos (POO), esta que proporciona mais organização e reuso de código, permitindo assim, diminuição de linhas de código que poderiam ser escritas desnecessariamente.

Com isso, conseguiu-se desenvolver adequadamente o programa *Sapp* para dispositivos móveis *Android* e colocá-lo na loja de aplicativos para ser baixado gratuitamente. Isso permite que qualquer pessoa o baixe e use o *Sapp* da maneira como precisar em seus dispositivos.

Conseguiu-se adequadamente realizar a validação do aplicativo desenvolvido quando se comparou os resultados obtidos por ele com os valores calculados por Bastos (2019) e pelo programa *SapForte*®. Assim, os resultados encontrados apresentaram-se coerentes nos 3 modelos de cálculo o que permitiu validar o programa para o dimensionamento de sapatas rígidas isoladas com ou sem momentos fletores pré-aplicados.

Notou-se, por fim, que a ferramenta desenvolvida apresenta grande potencial prático, quando auxilia o engenheiro no campo e no escritório a fazer rápidos dimensionamentos, de modo a chegar algum parâmetro específico. Do mesmo modo, o aplicativo apresenta elevada capacidade de auxiliar o estudante de engenharia na sala de aula, uma vez que permite o aluno testar diferentes tipos de parâmetros de dimensionamento rapidamente, fato que seria altamente custoso se fosse feito à mão.

Espera-se para trabalhos futuros que sejam desenvolvidas aplicações de dimensionamento de sapatas utilizando outros métodos de cálculo como o das bielas proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Além disso, a construção de programas para dispositivos móveis capazes de calcular outros tipos de estruturas de concreto e de aço.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercício de Fundações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2019. 214 p.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Projeto Estrutural de Sapatas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia (UFSM), 2007. Apostila - Departamento de Estruturas e Construção Civil.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed, v4. Rio Grande: Dunas, 2010. 323 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 6484**: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BALLESTER, Rafael Yagüe. **Propriedades mecânicas**. São Paulo: USP, 2017. Departamento de Biomateriais e Biologia Oral - Roteiro de estudos. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2986017/mod_resource/content/1/4_Propriedades%20Mec%C3%A2nicas%202017i.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapata de Fundação**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2019. Apostila - Departamento de Engenharia Civil.

BEZERRA, Eric Mateus Fernandes et al. Aplicativo *Android* para análise e dimensionamento de lajes nervuradas em concreto armado. In: IBRACON, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

BRITO, Diego Araújo de. **Fundações Profundas: Tubulões**. Vitória da Conquista, 2017. 36 slides, color. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/69443067-Tubulao-a-ceu-aberto-tubulao-a-ar-comprimido.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. Volume 2.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. Recommendations particulières au calcul et à l'exécution des semelles de fondation. Bulletin d'Information n.73. Paris, 1970.

DANTAS NETO, Silvrano Adonias. **Fundações e obras de contenção**. Fortaleza: Ufc, 2006. Apostila - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

DIRECTIVA ENGENHARIA (Minas Gerais). **Bloco de Fundação**. 2019. Disponível em: <<http://directiva.eng.br/servico/bloco-de-fundacao-2/>>. Acesso em: 07 set. 2019.

FONTANA, Annielli Cristine Kazmierski. JOÃO, Mayara de Moraes. Estacas profundas: desempenho da estaca hélice contínua – qualidade técnica de serviços e aspectos consideráveis. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 08, Vol. 06, pp. 135-147. Agosto de 2019. ISSN: 2448-0959

FREITAS, I. L. B. *et al.*. Desenvolvimento de uma ferramenta para dispositivos móveis para dosagem de concreto. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2018, São Paulo. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2018

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. (2019). **30ª Pesquisa Anual do FGVcia da FGV/EAESP, 2019**. Rio de Janeiro: FGVcia, 2019. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/sites/eaesp.fgv.br/files/pesti2019fgvciappt_2019.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2019.

GALVIS, Juliana Zapata. **Estimativa das tensões internas e externas atuantes no amostrador SPT durante sua cravação**. 2015. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-02052016-155809/publico/dissertacao_galvis.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

GASPAROTTO, Henrique Machado. **Os 4 pilares da Programação Orientada a Objetos**. 2014. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/os-4-pilares-da-programacao-orientada-a-objetos/9264>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

HANCHICH, Waldemar et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 762 p.

LONGO, Luis Filipe. **Como obter a pressão admissível a partir do SPT**. 2019. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360004276094-Como-obter-a-press%C3%A3o-admiss%C3%ADvel-a-partir-do-SPT>>. Acesso em: 16 out. 2019.

LOPES, Herbert Medeiros Torres; CHAVES, Wallace Kacio Costa; BEZERRA, Eric Mateus Fernandes. Aplicativo para dispositivos móveis para o dimensionamento de peças de madeira sujeitas à tração e à compressão. In: 16º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira E 3º Congresso Latino-Americano de Estruturas de Madeira, 16., 2018, São Carlos. **Anais....** São Carlos: Sbi, 2018.

MASCIA, Nilson Tadeu. **Exercícios de flexão geral**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Estruturas. UNICAMP, 2018. 65 p. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/exerciciosceflexaogeral.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MELHADO, Silvio Burrattino *et al.* **Fundações**. São Paulo: Usp, 1996. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/46617403/apostila-fundacoes1-1-brito-1987>>. Acesso em: 05 set. 2019.

NAKAMURA, Juliana. **Radier de concreto é solução de fundação rasa para vários tipos de solo**. 20-- . Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/radier-de-concreto-e-solucao-de-fundacao-rasa-para-varios-tipos-de-solo_17269_10_0>. Acesso em: 01 set. 2019.

PINTO, Jesse Wille Gondim; BANDEIRA, Francisca Joyce dos Santos; BEZERRA, Eric Mateus Fernandes. DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO ANDROID PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PERFIS LAMINADOS DE AÇO. In: COBENGE, 47., 2019, Fortaleza. **Anais....** Fortaleza: Abenge, 2019. p. 1 - 89.

POULOS, Harry G., Challenges in the Design of Tall Building Foundations. **Geotechnical Engineering Journal of The Seags & Agssea**. Sydney, dez. 2014. p. 108-113. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Harry_Poulos/publication/273949144_Challenges_in_the_Design_of_Tall_Building_Foundations/links/551132610cf2a8dd79bfeafc.pdf>. Acesso em: 06 set. 2019.

ROMANATO, Allan. **Introdução ao Java Virtual Machine (JVM)**. 2013. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/introducao-ao-java-virtual-machine-jvm/27624>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 353p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>>. Acesso em: 03 set. 2019.

SWAINE, Michael R.; FREIBERGER, Paul A.. **ENIAC**. 2018. Elaborado por Encyclopædia Britannica, inc.. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/ENIAC>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

TSUKAMOTO, Steven Koiti. **Arquitetura dos Supercomputadores**. 2010. 16 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência da Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/12146638-Arquitetura-dos-supercomputadores-top-500.html>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 568 p.

VIANA, Dandara. **Ensaio SPT: aprenda como interpretar os resultados**. 2018. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/resultado-ensaio-spt/#comments>>. Acesso em: 12 out. 2019.

ZAGO, Cassiano. **Fundação em Sapata Isolada ou Corrida**. 2018. Disponível em: <<https://www.zengcampinas.com.br/post/funda%C3%A7%C3%A3o-em-sapata-isolada-ou-corrida>>. Acesso em: 15 ago. 2019.