



Estimativa da capacidade de carga/tensão admissível de sapatas a partir de diferentes métodos de cálculo e suas implicações práticas: estudo de caso do município de Chapecó/SC

Luchesi, Rosana

Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus Chapecó, Chapecó, Santa Catarina, Brasil,
rosana.luchesi@hotmail.com

Carlesso, Gabriela Ceccon

Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus Chapecó, Chapecó, Santa Catarina, Brasil,
gabriela.carlesso@unoesc.edu.br

RESUMO: A capacidade de carga de uma fundação e respectiva tensão admissível pode ser estimada a partir de diferentes métodos de cálculo (teóricos e semiempíricos), além de provas de carga, os quais resultam, comumente, em valores distintos. Dado o contexto, o objetivo deste trabalho consiste em comparar os valores obtidos para a capacidade de carga (e tensão admissível) de sapatas por meio da aplicação de diferentes métodos, avaliando-se suas implicações em termos de quantitativos (concreto, em m³, e aço, em kg), sendo um estudo de caso do município de Chapecó/SC. Para tanto, foram identificados perfis de solo do município, a partir da análise de 36 furos de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), que possibilitaram a construção de um banco de dados georreferenciado. Estes dados foram inseridos no *software* ArcGIS e submetidos à interpolação por meio de um processo de *krigagem*, gerando-se mapas do município contendo isovalores de SPT (tratados de metro a metro). Com estes resultados, para dois bairros diferentes, foram calculadas tensões admissíveis de fundações por sapatas a partir do emprego do método teórico de Terzaghi (com a proposição de Vesic (1975)) e dos métodos semiempíricos de Decourt-Quaresma (1978), Teixeira (1996) e Mello (1975). Estas tensões foram empregadas no dimensionamento estrutural de sapatas para um projeto padrão pré-definido, com o auxílio do *software* Eberick. Entre os resultados, observou-se que o método semiempírico de Mello (1975) foi o que apresentou maior consumo de material, sendo, contudo, o mais a favor da segurança. O método mais econômico para as regiões de estudo foi o método de Decourt-Quaresma (1978), sendo que o valor da tensão admissível foi o maior valor comparado com os demais métodos utilizados. Cabe destacar, no entanto, que o emprego destes resultados deve ser conduzido com cautela, independente das conclusões aqui apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações rasas, Capacidade de carga, Tensões admissíveis, Métodos de cálculo.

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, essencialmente no que tange à área da engenharia de fundações, uma das maiores preocupações que se revela, voltada à segurança, diz respeito ao controle da

realização dos cálculos e da definição dos respectivos parâmetros, com base em ensaios de campo. Esta preocupação torna-se evidente, sobretudo, quando da necessidade de estimar a capacidade de carga dos sistemas (e respectiva tensão admissível, de projeto), uma vez que a



adoção de parâmetros inadequados pode resultar no colapso do solo onde está inserido o respectivo elemento.

Assim, destaca-se a importância da realização de estudos relacionados aos métodos de cálculo (teóricos ou semiempíricos), juntamente com os ensaios de caracterização dos solos, inclusive o SPT (*Standard Penetration Test*), que consiste no recurso experimental mais utilizado, no Brasil, para as sondagens geotécnicas.

Quanto ao cálculo da capacidade de carga, a NBR 6122:2010 (ABNT, 2010) e o meio técnico brasileiro reconhecem a adoção de diferentes métodos de cálculo que, comumente, resultam em valores distintos para a tensão admissível.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem como objetivo comparar os valores da capacidade de carga/tensão admissível das fundações quando obtidas a partir do emprego de diferentes métodos de cálculo, avaliando-se as implicações práticas do uso destas estimativas distintas, em termos de projeto e execução de obras (consumo de concreto e de aço).

Para isso, foram aplicados dados específicos do município de Chapecó (localizado no oeste de Santa Catarina), obtidos a partir de resultados de ensaios SPT previamente realizados no local. Estes dados foram tratados com o auxílio do *software* ArcGIS e utilizados no projeto de fundações por sapatas de um edifício-padrão, dimensionadas para as tensões admissíveis obtidas pelos diferentes métodos, com o emprego do *software* Eberick.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundações: conceitos preliminares

No Brasil, o projeto e a execução de fundações são normalizados pela ABNT NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações (ABNT,

2010). Segundo essa norma, uma fundação superficial trata-se de um elemento de fundação em que a carga é transmitida ao solo pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (como sapatas, blocos, radiers, grelhas, etc).

Uma fundação profunda, por sua vez, é definida pela NBR 6122 (2010) como sendo um componente de fundação que transmite esforços ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m.

2.1 Capacidade de carga e tensão admissível

No contexto do dimensionamento das fundações, Velloso e Lopes (2010) definem a capacidade de carga de um sistema de fundação como sendo a carga com a qual o solo sob essa fundação se rompe ou causa deformações excessivas. Deste modo, destaca-se a importância de se conhecer previamente, quando do projeto de uma fundação, o comportamento do solo onde a mesma será assentada. Além das características do solo, entre outras variáveis, a capacidade de carga de um sistema de fundação pode depender das dimensões do elemento e da sua profundidade de assentamento.

2.1.1 Tensão admissível

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), a tensão admissível utilizada em projeto, empregada ao solo pela fundação, atende os coeficientes de segurança, os estados-limites últimos (ruptura) e estado de serviços (recalques, vibrações).

Para a determinação da tensão admissível, a NBR 6122 (2010) cita que podem ser



empregados diferentes métodos:

- a) Métodos teóricos: analíticos, baseados em teorias de capacidade de carga;
- b) Métodos semiempíricos: associados aos resultados de ensaios, como os de SPT e CPT; e
- c) Prova de carga sobre placa: que se trata de um ensaio que a ser desenvolvido de acordo com a ABNT NBR 6489.

Entre os métodos teóricos e semiempíricos, que serão vistos detalhadamente na sequência, destacam-se os métodos de Terzaghi, Vesic, Skempton, Meyerhof, Brinch-Hansen, Aoki-Velloso e Decourt-Quaresma, por exemplo, que englobam, nas suas singularidades, o cálculo de fundações rasas. A adoção de métodos distintos, conforme esperado, devido ao fato de se basearem em teorias ou experiências diferentes, levam à obtenção de valores de capacidade de carga também diferentes, conforme demonstrado por Rubin (2016).

2.1.2 Métodos teóricos

Os métodos teóricos baseiam-se em formulações clássicas desenvolvidas por pesquisadores, como Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1961) e Vésic (1975), para estimar a capacidade de carga do solo, e são baseadas essencialmente nas propriedades de resistência ao cisalhamento e na compressibilidade do solo (OLIVEIRA; AMANCIO, 2016).

Velloso e Lopes (2010) citam que o primeiro autor a apresentar fórmulas para cálculo da capacidade de carga das fundações superficiais e profundas foi Terzaghi (1925).

2.1.3 Métodos semiempíricos

Métodos semiempíricos, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2010), são métodos os quais associam os resultados dos ensaios de SPT e CPT, com as tensões admissíveis ou tensões resistentes de projeto. Estes métodos necessitam de atenção nos domínios de validade de suas aplicações,

assim como nas dispersões dos resultados e as limitações regionais associadas a cada um dos métodos.

Por isso, os métodos semiempíricos são aqueles em que as propriedades dos solos são determinadas com base em correlações para, em seguida, serem aplicadas em fórmulas empíricas (LUNKES, 2016). O autor cita um exemplo, que seria a estimativa da resistência ou compressibilidade com base na resistência à penetração em sondagem SPT (N_{SPT}) ou na resistência de ponta do ensaio de penetração estática de cone.

2.2 Standard Penetration Test (SPT)

Para a análise geotécnica preliminar do solo, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) deve ser realizado um procedimento que objetiva conhecer as condições naturais do solo, composto, no mínimo, por sondagens a percussão (SPT). Este ensaio tem em vista a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} (este conforme a ABNT NBR 6484).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

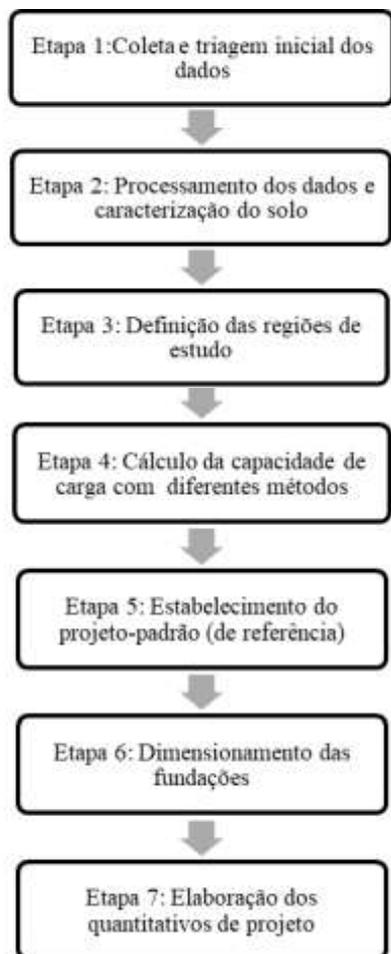
De modo a alcançar os objetivos apresentados neste trabalho, a pesquisa foi dividida em sete etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

A Etapa 1 consistiu na coleta e triagem dos resultados de ensaios de sondagens à percussão (SPT) realizadas anteriormente no município de Chapecó, a partir de consulta junto às construtoras, escritórios de engenharia e empresas de sondagens atuantes no local. A etapa teve como objetivo a montagem de um banco de dados que caracterizasse as diferentes áreas (por ex. bairros) do município. Após a coleta dos boletins, ainda na Etapa 1, iniciou-se a triagem das sondagens. Para a validação das



mesmas, por exemplo, necessitou-se analisar se os boletins/furos possuíam os dados necessários para a realização deste estudo (como o nome do bairro, rua e número de golpes por camada).

Figura 1 - Fluxograma



Fonte: a autora.

Posteriormente, na Etapa 2, foram definidos os procedimentos para processar os dados validados e viabilizar a caracterização de cada camada do solo. Sendo assim, todos os dados referentes aos relatórios/furos SPT foram reproduzidos em uma planilha no Microsoft Excel. Para a elaboração desta planilha, foram adotados os seguintes procedimentos e critérios:

- Em cada furo, foi inserindo o número de golpes (N_SPT) por camada (de 1 em 1 m), o qual determina o índice de

resistência à penetração, conforme a NBR 6484 (ABNT, 2001), em conjunto com a classificação do solo de metro em metro;

- Para as sondagens que apresentavam camadas de impenetrável ao amostrador padrão, cascalho, ou número de golpes superior a 50 golpes, adotou-se um N_SPT=50. Este procedimento foi adotado para garantir uma interpolação consistente dos dados e que todas as sondagens fossem analisadas, de forma que os campos de N_SPT com impenetrável não permanecessem vazios no banco de dados;
- Foi determinada a profundidade limite de 10 metros para realização deste estudo, pois algumas sondagens apresentavam a paralização da sondagem por solicitação do cliente ou apenas “furo finalizado” entre 10 e 15 metros;
- Como os relatórios de sondagens são compostos por um conjunto de furos, os quais são realizados em um determinado terreno, houve a necessidade de realizar a escolha de um furo que caracterizasse o conjunto de cada terreno, para posteriormente realizar a simulação gráfica do N_SPT de cada camada de solo. Conforme Thiesen (2016) é necessária esta seleção, pois a concentração de vários pontos em um único terreno, em razão da distância entre os demais furos, não favorece a modelagem numérica das superfícies;
- Para a escolha deste furo representativo de cada relatório, foi adotado o seguinte critério: inicialmente, foi realizada a soma de todos os números de golpes de cada furo, para cada um dos relatórios, até os 10 metros; em seguida, foi selecionada a menor soma de N_SPT entre os furos de um mesmo relatório. Este furo foi selecionado como representativo, a favor da segurança.



Para a compilação dos dados obtidos, foi necessário elaborar uma tabela de referência, contemplando os seguintes dados de cada relatório e respectivo furo representativo:

- Nome do ponto representativo;
- Coordenada X e coordenada Y;
- Profundidade;
- Número de golpes da camada (N_SPT); e
- Tipo de solo.

Após o tratamento dos dados, explanado anteriormente, foi possível iniciar o processamento em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), fazendo-se uso do *software* ArcGIS, que possibilitou a caracterização do solo, camada por camada.

Na sequência, a partir do emprego do *software*, foi possível a obtenção dos mapas temáticos de cada camada de solo, contendo os respectivos resultados de N_SPT, procedimento conduzido pela aplicação da ferramenta de *krigagem*. O método para processamento dos dados, por interpolação, consistiu na *krigagem* exponencial, também empregado, entre outros, no trabalho de Thiesen (2016).

Na Etapa 3, a partir dos dados coletados na Etapa 1 e dos resultados da Etapa 2, foram estabelecidos, primeiramente, os bairros de estudo, de acordo com o maior número de furos, os quais demonstram maior representação da área analisada.

Definidos os bairros para esta pesquisa, houve a necessidade da definição dos perfis de solo representativos de cada bairro, para serem utilizados nas etapas seguintes.

Assim, o procedimento adotado nesta fase do estudo consistiu em definir-se, para cada metro avaliado, o N_SPT predominante no local, isto é, com maior área de abrangência (em % relativa) dentro do bairro. A definição destas áreas para comparação também foi conduzida com o *software* ArcGIS, a partir da ferramenta “Measure area”.

Na Etapa 4, desenvolveu-se o cálculo da

capacidade de carga dos solos/tensões admissíveis (segundo o processamento de dados da Etapa 2 e a definição das áreas de estudo da Etapa 3), compreendido como o dimensionamento geotécnico das fundações.

Os diferentes métodos de cálculos adotados foram os seguintes: (1) método teórico de Terzaghi com a proposição de Vesic (1975); e (2) os métodos semiempíricos de (2.1) Decourt-Quaresma (1978), (2.2) Teixeira (1996) e (2.3) Mello (1975).

Os valores de N_SPT a serem empregados nos métodos de cálculo, a título de simplificação e uniformização, foram adotados como sendo resultantes da média no interior do bulbo de tensões. Contudo, sabe-se que o método de Decourt-Quaresma (1978) recomenda a obtenção da média a partir de três valores: o correspondente à cota da base, o imediatamente anterior e o imediatamente superior.

Para a coesão, adotou-se a determinação dos valores apresentados por Teixeira e Godoy (1996). O valor para o peso específico do solo foi estimado com base na teoria de Godoy (1972).

A cota de assentamento das sapatas, para a análise desenvolvida neste trabalho, foi considerada como a profundidade de 1 metro. Contudo, sabe-se que, conforme as recomendações da NBR 6122 (ABNT, 2010), nas divisas com terrenos vizinhos (exceto nos casos em que a fundação for apoiada sobre rocha), a profundidade mínima para apoio das fundações superficiais é de 1,5 metro.

Para os cálculos de capacidade de carga, no caso do método teórico, foram pré-estipuladas duas situações:

- I. Uma sapata quadrada com dimensões pré-definidas, de 2,0 m x 2,0 m, considerando-se a profundidade do bulbo de tensões como duas vezes a menor dimensão da sapata;
- II. Uma sapata quadrada com dimensões



pré-definidas, de 2,5 m x 2,5 m, considerando o valor do bulbo de tensões também igual a duas vezes a menor dimensão da sapata.

Na Etapa 5, paralelamente, ocorreu a escolha de um projeto-padrão para realização do dimensionamento das fundações da edificação proposta.

Assim, foi desenvolvido previamente, para este projeto arquitetônico, um projeto estrutural, com o emprego do *software* Eberick. Os resultados do projeto estrutural recém-mencionado, em termos de cargas atuantes nas fundações, foram utilizados como carregamentos para o presente trabalho.

A Etapa 6 consistiu no dimensionamento das fundações para o projeto-padrão estabelecido na Etapa 5, empregando-se os diferentes valores de tensões admissíveis obtidos na Etapa 4. O dimensionamento das fundações foi realizado com o auxílio do *software* Eberick, obedecendo-se às recomendações das normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 6122 (ABNT, 2010).

Para realização do dimensionamento estrutural das fundações, foram adotadas as capacidades de carga calculadas para a situação II (supondo-se sapatas de 2,5 m x 2,5 m), visando a distinção da capacidade de carga entre os bairros. Foram padronizados os tipos de materiais para todos os métodos de cálculo, sendo utilizado concreto com fck de 25 MPa e aço CA-50.

Na Etapa 7 foi elaborado o quantitativo das fundações, também com o auxílio do *software* Eberick, para cada situação em estudo (dimensionamento a partir das diferentes tensões admissíveis). A análise dos quantitativos se baseou no consumo de aço (kg) e no volume de concreto (m³).

Posteriormente, de posse destes quantitativos, foram feitas as comparações dos métodos de cálculo, verificando-se as situações mais viáveis do ponto de vista econômico e do

ponto de vista de segurança, tratando-se da execução das fundações do projeto-padrão.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Etapa 1 – Coleta e triagem inicial dos dados

Nesta etapa, a partir da coleta de dados junto às construtoras, escritórios de engenharia e empresas de sondagens atuantes na região de Chapecó, foram adquiridos 50 relatórios de sondagem distintos, totalizando-se 207 furos, distribuídos em 19 bairros diferentes.

Após a análise destes relatórios, avaliando-os furo a furo e eliminando-se dados incompatíveis com este estudo (como, por exemplo, resultados de sondagens rotativas), foram selecionadas 36 relatórios, computando 153 furos SPT para a realização do presente trabalho.

Na Tabela 1 é apresentada a relação do número de relatórios selecionados por bairro, após a triagem inicial.

Tabela 1. Relação da quantidade de relatórios de sondagem por bairro (após a triagem inicial)

Bairros	Quantidade de relatórios
Aeroporto	1
Bom Pastor	1
Centro	9
Desbravador	1
Efapi	3
Esplanada	1
Jardim Itália	1
Líder	1
Maria Goreti	1
Palmital	1
Paraíso	2
Passo dos fortes	2
Pinheirinho	1
Presidente Médici	4
Santa Maria	2
Santa Paulina	1
São Cristóvão	2
Seminário	1
Universitário	1

Fonte: a autora.



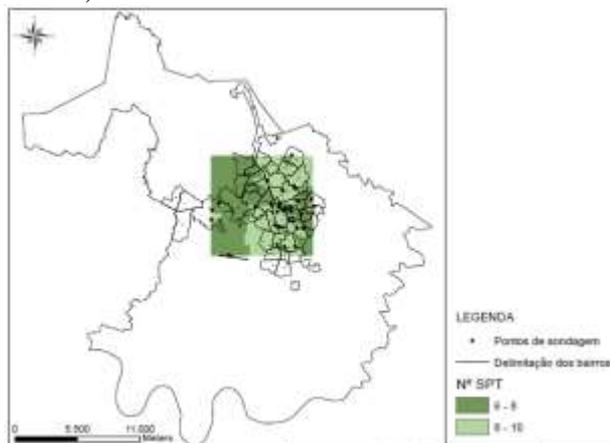
Os bairros que possuíram maior quantidade de relatórios são: o Bairro Centro, com 9 relatórios, somando 31 furos; o Bairro Presidente Médici, com 4 relatórios, contabilizando 16 furos; o Bairro Efapi, com 3 relatórios e o total de 21 furos; e o Bairro Passo dos Fortes, com 2 relatórios, contendo 13 furos. A média de furos realizados por relatório é de 4,25 furos, por ponto de sondagem.

4.2 Etapa 2 - Processamento dos dados e caracterização do solo

Os mapas obtidos após o processamento dos dados realizado na Etapa 2 demonstraram a caracterização do solo do município de Chapecó por meio do N_{SPT}, de camada por camada, consideradas de 1 em 1 metro, até a camada referente aos 10 metros de profundidade. Cabe ressaltar que a primeira camada, referente à profundidade entre 0 m e 1 m não foi analisada, uma vez que não costuma-se fazer ensaio a esta profundidade.

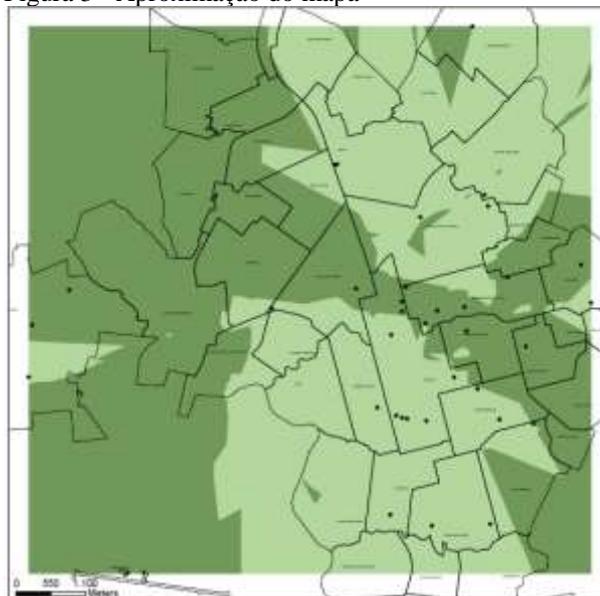
As Figuras 2 e 3 apresentam a caracterização do solo no município da camada entre 1 a 2 m, lembrando que foi realizada a caracterização do solo dos bairros até a camada referente aos 10 metros de profundidade.

Figura 2 - Mapa da profundidade de 1 m a 2 m (Segunda camada)



Fonte: a autora.

Figura 3 - Aproximação do mapa



Fonte: a autora.

Diante dos mapas e dos resultados alcançados, notou-se que o solo desta região de estudo apresenta-se com características predominantemente argilosas e siltosas.

4.3 Etapa 3 - Definição das regiões de estudo e comportamento dos perfis de solo

Em função de possuírem o maior número de pontos de sondagens, foram adotados os seguintes locais de estudo: o Bairro Centro (com o número total de 8 furos representativos, selecionados como críticos na Etapa 2, a partir da avaliação de uma totalidade de 31 furos); e o Bairro Presidente Médici (com o número total de 5 furos representativos, selecionados a partir da avaliação de 16 furos). O Bairro Centro possui uma área de 2.730.948,04 m² e o Bairro Presidente Médici 1.660.787,93 m², segundo as medidas feitas no Mapa Urbano Básico do Município, disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano – SEDUR da Prefeitura Municipal de Chapecó.

A partir da análise dos mapas e a realização das maior predominância do N_{SPT}, foram definidas as caracterizações do solo dos bairros, camada por camada, até os 10 metros de



profundidade. A seguir são apresentados os perfis de solo de cada bairro, nas Tabelas 2 e 3, com os respectivos tipos de solo, a porcentagem que mais se destacaram, perante a área de cada bairro.

Tabela 2. Perfil de solo representativo bairro Centro

FURO REPRESENTATIVO			
Camada (prof.)	N_SPT	Porcentagem (%)	Tipo de solo
1 (0 a 1 m)	-	0	Não recuperado
2 (1 a 2 m)	9	75,62	Argila média
3 (2 a 3 m)	9	62,73	Argila média
4 (3 a 4 m)	13	30,52	Argila rija
5 (4 a 5 m)	19	35,86	Argila rija
6 (5 a 6 m)	18	33,34	Argila rija
7 (6 a 7 m)	19	38,06	Argila rija
8 (7 a 8 m)	20	31,10	Argila dura
9 (8 a 9 m)	23	33,61	Argila dura
10 (9 a 10 m)	27	33,30	Argila dura

Fonte: a autora

Tabela 3. Perfil de solo representativo bairro Presidente Medici

FURO REPRESENTATIVO			
Camada (prof.)	N_SPT	Porcentagem (%)	Tipo de solo
1 (0 a 1 m)	0	0	Não recuperado
2 (1 a 2 m)	7	75,14	Argila média
3 (2 a 3 m)	9	84,01	Argila média
4 (3 a 4 m)	15	77,18	Argila rija
5 (4 a 5 m)	19	52,73	Argila rija
6 (5 a 6 m)	24	66,22	Argila dura
7 (6 a 7 m)	19	38,08	Argila rija
8 (7 a 8 m)	26	61,24	Argila dura
9 (8 a 9 m)	29	33,32	Argila dura
10 (9 a 10 m)	29	43,92	Argila dura

Fonte: a autora

Portanto, notou-se a semelhança entre os perfis dos bairros nas seguintes camadas: terceira, quinta e sétima. Também nota-se que a média dos valores de N_SPT das camadas, até a quinta, para fins de cálculo de capacidade de carga (bulbo de tensões), mantem-se a mesma, independente do bairro considerado. Sendo assim, a capacidade de carga será a mesma, mesmo sendo diferentes os valores de N_SPT de cada camada.

4.4 Etapa 4 - Cálculo da capacidade de

carga/tensão admissível com o emprego dos diferentes métodos

Os valores das tensões admissíveis foram calculados de acordo com cada método (teórico e semiempírico), e utilizados os valores médios do N_SPT dentro do bulbo de tensões, para cada perfil de solo definido, de acordo com o bairro considerado.

Para a primeira situação adotada (situação I), verificou-se que a tensão admissível do solo, de cada perfil, é a mesma para os dois bairros escolhidos. Sendo assim, neste caso específico, as regiões de estudos apresentam o comportamento de solo semelhante, uma vez que a média de N_SPT dentro do bulbo de tensões é a mesma, mesmo que o perfil de solo não seja igual. Os valores obtidos na segunda situação (situação II) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados obtidos da II situação

Método de cálculo	Centro σ_a (Kgf/cm ²)	Presidente Medici σ_a (Kgf/cm ²)
Terzaghi /Vesic (1975)	2,85	2,94
Decourt-Quaresma (1978)	3,37	3,77
Teixeira (1996)	2,72	2,96
Mello (1975)	2,69	2,85

Fonte: a autora

O método que resultou a maior tensão admissível foi o método semiempírico de Decourt-Quaresma (1978), para o Bairro Presidente Medici, sendo 3,77 kgf/cm². E o método que apresentou a menor tensão admissível foi o método Mello (1975), sendo 2,69 kgf/cm², sendo este o que está mais a favor da segurança.

4.5 Etapa 5 - Estabelecimento do projeto-padrão

Como resultado desta etapa, foi designado um projeto de edificação composta por 4

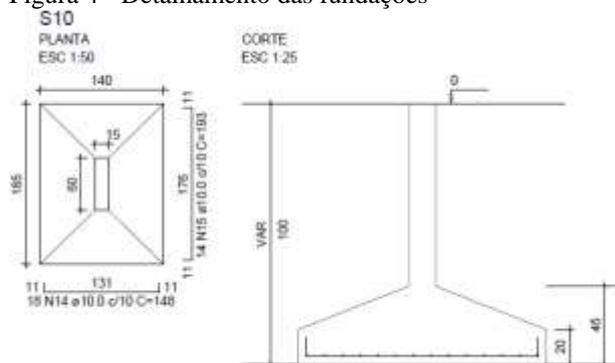


pavimentos, com ocupação multifamiliar, possuindo área total de 2458,03 m². Nesta etapa, constatou-se que o projeto-padrão estabelecido se enquadra com o zoneamento urbano do Município de Chapecó/SC, uma vez que os bairros Centro e Presidente Médici também são definidos, em termos de uso e ocupação do solo, como unidades de moradia (UM), conforme o Plano Diretor.

4.6 Etapa 6 - Dimensionamento das fundações

O detalhamento das respectivas fundações, e suas medidas e locações, foram apresentadas em uma prancha de locação das sapatas e uma prancha de detalhamento das armaduras das sapatas, geradas a partir do Eberick. A seguir é apresentado a Figura 4, exemplificando o dimensionamento das fundações.

Figura 4 - Detalhamento das fundações



Fonte: a autora

4.7 Etapa 7 - Elaboração do quantitativo do projeto: comparação

A obtenção dos quantitativos para cada método de cálculo e para cada região de estudo obtido por meio do programa Eberick, na opção de resumo de materiais, selecionando-se para a demonstração apenas os resultados das fundações.

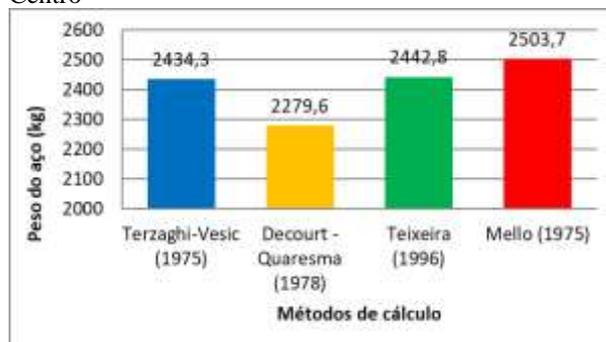
São apresentados em forma de gráficos os resumos de materiais necessários para a execução das fundações, considerando-se os diferentes métodos de cálculo de tensão

admissível e cada bairro de estudo. Os gráficos apresentam o consumo de aço (o peso total de aço, em kg, mais 10% de acréscimo) e o consumo de concreto (em unidade de volume, neste caso, em m³).

4.7.1 Bairro de estudo: Centro

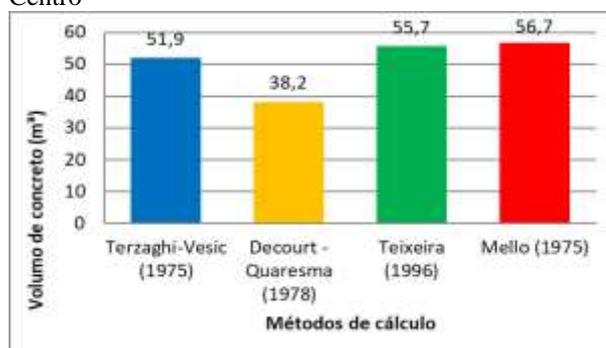
Na Figura 5 é apresentado o comparativo de consumo de aço (em kg) obtido para a execução do projeto-padrão no Bairro Centro. A Figura 6 ilustra o comparativo em termos de concreto (m³).

Figura 5 - Comparativo do peso de aço (kg): Bairro Centro



Fonte: a autora.

Figura 6 - Comparativo volume de concreto (m³): Bairro Centro



Fonte: a autora.

Observando o da Figura 5, nota-se que a relação da variação do peso de aço para cada método, entre o menor valor ao maior valor, é de 8,95%, sendo o método de Mello (1975) com o maior consumo de aço.

Nota-se também a semelhança dos valores do método de Terzaghi-Vesic (1975) e de Teixeira



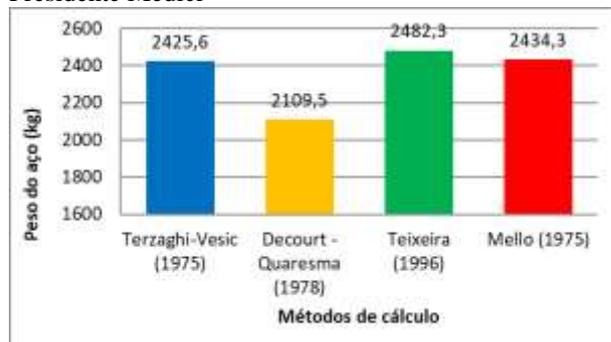
(1996), sendo que a diferença em kg de aço entre os dois é de 8,5 kg.

A partir da comparação dos resultados do consumo de concreto para o projeto-padrão, a ser executado no Bairro Centro, constata-se que o método de Decourt-Quaresma (1978) é o que demonstra menor consumo. Percebe-se que os maiores valores de volume de concreto são do método de Mello (1975) e de Teixeira (1996), com valores similares. A porcentagem de consumo entre o maior e o menor é de 48,42%.

4.7.2 Bairro de estudo: Presidente Médici

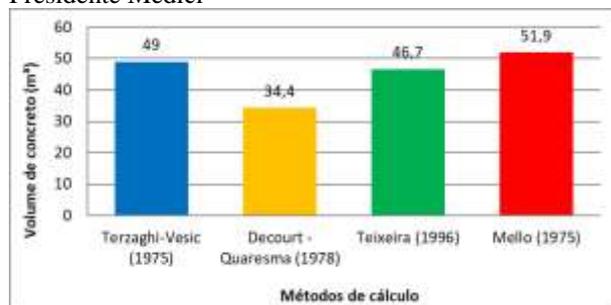
A Figura 7 apresenta o comparativo de aço (em kg) alcançado para realizar execução do projeto-padrão no Bairro Presidente Médici. A Figura 8 apresenta o mesmo comparativo em relação ao consumo de concreto (m^3).

Figura 7 - Comparativo do peso de aço (kg): Bairro Presidente Médici



Fonte: a autora.

Figura 8 - Comparativo volume de concreto (m^3): Bairro Presidente Médici



Fonte: a autora.

Analisando-se o gráfico acima, nota-se que a

variação do peso de aço entre o menor valor e maior valor representa uma diferença de 15,31%, sendo que o método de Decourt-Quaresma (1978) possui o menor consumo de aço e o método de Teixeira (1996) demonstra o maior consumo deste material.

A comparação dos resultados do consumo de concreto para a execução do projeto-padrão, no Bairro Presidente Médici, observa-se a diferença entre os métodos de Decourt-Quaresma (1978) e de Mello (1975), com uma diferença de 33,72%.

Percebe-se que os maiores valores de volume de concreto são do método de Terzaghi-Vesic (1975) e de Mello (1975), que mais se assemelham do de Teixeira (1996), distoando do de Decourt-Quaresma (1978).

Diante do exposto, em uma análise geral referente às observações feitas nos gráficos, observa-se que a aplicação do método de Teixeira (1996) e de Mello (1975) resulta em maiores valores do consumo de materiais para o projeto-padrão adotado.

Destaca-se, no Bairro Presidente Médici, no consumo de concreto, o resultado obtido Terzaghi-Vesic (1975), sendo o segundo maior consumo. Ressalta-se que este método, por se tratar de um método teórico, necessita de informações mais específicas, conforme citado por Aviz (2006), segundo o qual o método requer conhecimentos mais detalhados da geometria do problema, das propriedades tensão, deformação e resistência dos solos e das características da interface solo-fundação.

Já o método de Mello (1975), que refere-se ao cálculo da tensão admissível independente do tipo de solo, apresenta o maior consumo de material no Bairro Centro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos a partir desta pesquisa, conclui-se que as regiões de estudo adotadas para avaliação (Bairros Centro



e Presidente Médici, no município de Chapecó/SC), apresentam comportamento semelhante em termos de resistência das camadas (SPT).

Quanto à tensão admissível calculada para as sapatas pelos diferentes métodos, a partir dos estudos realizados, pode-se observar que as principais divergências foram encontradas entre os valores calculados pelos métodos de Decourt-Quaresma (1978) e Mello (1975), ambos semiempíricos. Sendo que o método de Decourt-Quaresma (1978) foi o que apresentou os maiores valores tensão admissível. Neste sentido, este método foi o que apresentou valores menores em consumo de materiais nos dois bairros analisados.

Entre os métodos semiempíricos, observou-se que os resultados de tensão admissível apresentaram variação, sendo que os valores dos três métodos (método de Decourt-Quaresma (1978); método de Teixeira (1996) e o método de Mello (1975)), foram parcialmente similares.

Como recomendação para trabalhos futuros, para se ter uma análise mais representativa do local de estudo, sugere-se a obtenção de uma quantidade maior de dados referentes a sondagens, melhorando a precisão deste trabalho em termos de caracterização do solo local. Ressalta-se que este estudo demonstra resultados consideráveis em termos de caracterização do solo do Município de Chapecó/SC, porém, não deve ser utilizado para a realização de um projeto de fundações, uma vez que foi idealizado com uma pequena amostragem dos N_{SPT} do solo da região.

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – FUMDES, com financiamento do Governo do Estado de Santa Catarina por meio do Programa de Bolsas de Estudo da Educação Superior – UNIEDU.

REFERÊNCIAS

- Associação brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122 - *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 6484 - *Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2001.
- Aviz, L. B. M. *Estimativa da capacidade de carga de estacas por métodos semi-empíricos e teóricos*. 2006. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- Decourt, L.; QUARESMA, A. R. *Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações. Anais... v. 1. 6 ed. Rio de Janeiro, 1978.
- Lunkes, C. R. D. *Estacas de compactação como alternativa para melhoramento de solos arenosos*. 2016. 83 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- Godoy, N. S. *Fundações*. Notas de aula, Curso de Graduação, São Carlos - SP, Escola de engenharia de São Carlos – USP, 1972.
- Mello, V. F. B. *Deformações como base fundamental de escolha de fundação*. Geotecnia, SPG, nº 12, fev-mar. 1975.
- Oliveira, B. L. M.; Amancio, L. B. *Otimização do cálculo da capacidade de carga e tensão admissível do solo para sapatas isoladas*. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia, Goiânia. v. 12, n. 2, p. 53-66, jun./dez. 2016.
- Rubin, A. B. *Previsão da capacidade de carga de estacas do tipo hélice contínua*. 2016. 92 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- Vesic, A. S. *Bearing capacity of shallow foundations*. In: WINTERKORN, H. F. e FANG, H. Y. *Foundation Engineering Handbook*. New York Van Nostrand Reinhold, 1975.
- Teixeira, A. H.; Godoy, N. S. *Análise, projeto e execução de fundações rasas*. In: HACHICH. *Fundações: teoria e prática*. São Paulo: Pini, 1996.
- Thiesen, S. *Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.