UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI

BRUNA VOGT BÄR

ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA E RECALQUE DOS SOLOS RESIDUAIS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Ijuí

2015

BRUNA VOGT BÄR

ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA E RECALQUE DOS SOLOS RESIDUAIS DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Me. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Ijuí

2015

BRUNA VOGT BÄR

ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA E RECALQUE DE SOLOS RESIDUAIS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 16 de novembro de 2015

Prof. Mestre Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Orientador

Prof. Mestre Lia Geovana Sala

Mestre em Arquitetura (UFSC)

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Antônio S. Echeverria

Mestre em Engenharia Civil (UFRGS)

A todos os que torcem por mim, obrigada de coração.

Esta conquista é para vocês.

AGRADECIMENTOS

É difícil conseguir agradecer a todas as pessoas que, de algum modo, se fizeram presente em minha vida durante estes cinco anos de graduação, então primeiramente, obrigada a todos de coração.

Dedico este trabalho à memória de meu avô Leopoldo, que nunca teve dificuldades em expressar seu orgulho e admiração pelos meus estudos. Aproveito para agradecer também a minha vó Brunilde, por tudo.

Agradeço aos meus pais por sempre acreditarem que não há metas que eu não consiga alcançar (de tanto vocês acreditarem nisso, começo a acreditar também) e por todos os sacrifícios feitos por mim, espero poder retribuí-los em breve.

Ao namorado Gustavo, que chegou já no fim desta jornada, você a faz melhor a cada dia que passa, e sei que você estará presente em todos os agradecimentos que eu vier a fazer adiante.

À toda a minha família, pelos encontros barulhentos, dos quais eu não tenho participado muito, devido aos projetos e provas que me esperavam. Um obrigado especial à minha prima Ana, por ser a irmã que eu sempre tive; e por todas as criaturinhas maravilhosas que você trouxe para minha vida. Sem você eu não seria quem eu sou.

Agradeço aos meus maravilhosos professores, com vocês aprendi muito além da engenharia civil, em especial ao meu orientador, professor Carlos Wayhs, pela confiança, dedicação, e principalmente por compartilhar a sua experiência e conhecimento conosco.

Obrigada à Camillo Construções e Terraplanagens Ltda. e ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) por disponibilizarem os equipamentos necessários para a execução dos ensaios de placa.

Obrigada à FUNDERS e a MINERAG por disponibilizarem os ensaios de sondagens SPT utilizados neste trabalho, em especial à minha colega Carla e seu marido Jarbas que tão gentilmente nos ajudaram pessoalmente nesta etapa.

Agradeço aos meus colegas que direta ou indiretamente ajudaram no meu período de graduação, em especial à Indiana, pelas milhares explicações e ajudas durante a graduação, e aos meus colegas de pesquisa, Hugo e Luciana, podem contar comigo sempre.

E finalmente, agradeço a Deus, por me dar força e capacidade para encarar estes últimos cinco anos, em que minha vida mudou tanto. Obrigada por todas as conquistas e todas as batalhas, obrigada pelas pessoas maravilhosas que o senhor pôs no meu caminho, e por tudo o que ainda está por vir.

Do or do not. There is no try.

MasterYoda

RESUMO

VOGT B., Bruna. **Estudo da capacidade de carga e recalque dos solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

O comportamento carga-recalque de estruturas de fundações superficiais pode ser representado por curvas tensão-recalque obtidas como resultados dos ensaios de carregamento em placas. Esses ensaios de placa, por sua vez, regidos pela NBR 6489/1984, apesar de encontrarem-se quase em desuso, é um dos melhores métodos de determinação das características de deformação do subsolo. Este trabalho de conclusão de curso objetiva estudar e avaliar o solo regional do Noroeste do Rio Grande do Sul quanto a sua capacidade de carga e recalque através da realização de cinco ensaios de placa nas cidades de Coronel Barros, Ijuí e Santa Rosa, com um conjunto de placas de 48 cm e 80 cm de diâmetro, e três ensaios de sondagem SPT. Através desses ensaios, obteve-se valores de campo das tensões admissíveis e recalques, e valores estimados através de metodologias de cálculo utilizadas pelos engenheiros de fundação, para cada local de ensaio. Por fim, apresenta-se uma análise e comparação destas tensões, visando determinar quais metodologias de cálculo apresentaram resultados mais condizentes com os resultados obtidos dos ensaios de placa. Complementarmente, realizaram-se os ensaios clássicos de caracterização geotécnica das amostras coletadas, visando obter-se um conhecimento tão aprimorado quanto possível dos solos estudados.

Palavras-chave: Ensaios de Placa. Tensão admissível. Ruptura. Fundações Superficiais.

ABSTRACT

VOGT B., Bruna. **Estudo da capacidade de carga e recalque dos solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

The load-settlement behavior of superficial foundation structures can be represented by stress-settlement curves, obtained as results of the loading tests on plates. These plate essays, in turn, guided by NBR 6489/1984, although it finds itself almost unused, it is one of the best methods to determinate the subsurface deformation characteristics. This graduation conclusion paper aims to study and evaluate the Northwest regional soil of Rio Grande do Sul as its load capacity and settlement, by conducting five plate essays in the cities of Coronel Barros, Ijuí and Santa Rosa, with a set plates of 48 cm and 80 cm in diameter, and three SPT probe assays. Through these essays, we obtained field values of allowable tensions and settlements, and estimated values by calculation methodologies used by the foundation engineers, for each test site. Finally, it is presented an analysis and comparison of these tensions, in order to determine which calculation methods showed more consistent results with the results of plate assays. In addition, it was realizes the classic geotechnical characterization tests of the samples collected, aiming to obtain an enhanced knowledge as possible from the studied soils sites.

Keywords: Plate assay. Admissible strain. Rupture. Shallow Fundations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento de sondagem 24
Figura 2 - Sistema para execução do ensaio de placa 25
Figura 3 - Sistema sapata-solo 27
Figura 4 - Ruptura por puncionamento 28
Figura 5 - Ruptura geral (a) e local (b) 28
Figura 6 - Curvas típicas tensão-recalque 29
Figura 7 - Fatores de capacidade de carga 30
Figura 8 - Curva tensão-recalque 33
Figura 9 - Coeficiente de Recalque 37
Figura 10 - Relação modelo x protótipo 39
Figura 11 – Comparação das curvas tensão-recalque 41
Figura 12 - Delineamento da pesquisa 43
Figura 13 - Equipamentos utilizados no ensaio 44
Figura 14 - Macaco Hidráulico 45
Figura 15 - Equipamento montado com o sistema de reação 45
Figura 16 - Mapa do Rio Grande do Sul com detalhe para a região Noroeste 48
Figura 17 - Detalhe dos municípios estudados 49
Figura 18 - Localização do local de ensaio de placas em Coronel Barros 49
Figura 19 – detalhe do local do ensaio de placa: Coronel Barros 50
Figura 20 – Local do ensaio de placas: Ijuí 50
Figura 21 - Local de ensaio de placa: Santa Rosa 51
Figura 22 – Curva granulométrica Coronel Barros 52
Figura 23 - Curva de Compactação Coronel Barros 53
Figura 24 - Curva granulométrica Ijuí 54
Figura 25 - Curva de compactação Ijuí 54
Figura 26 - Curva granulométrica Santa Rosa 55
Figura 27 - Curva de Compactação Santa Rosa 56
Figura 28- Curva carga-recalque do Ensaio de Placa em Coronel Barros – placa 48 cm . 58

Figura 29 - Curva de Recalque Adimensionalizado do Ensaio de Placa em Cel. Barros . 58
Figura 30 – Solo local antes e depois da ruptura 60
Figura 31 - Curva carga-recalque Ijuí – placa 48 cm 61
Figura 32 - Curva adimensionalizada Ijuí – placa 48 cm 62
Figura 33 - Curva Carga – recalque do Ensaio de Placa em Ijuí – placa 80 cm 63
Figura 34 - Curva Adimensionalizada do Ensaio de placa em Ijuí - placa 80 cm..... 63
Figura 35 - Curva extrapolada do Ensaio de Placa em Ijuí 64
Figura 36 - Local do ensaio antes e depois da ruptura do solo..... 66
Figura 37 - Ruptura do solo Ijuí 67
Figura 38 - Local de Ijuí após ensaio - placa 80 cm..... 67
Figura 39 - Curva carga - recalque do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 48 cm 69
Figura 40 - Curva adimensionalizada do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 48..... 69
Figura 41 - Curva carga - recalque do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm 70
Figura 42 - Curva Adimensionalizada do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm 71
Figura 43 – Curva carga – recalque extrapolada– Santa Rosa 72
Figura 44 - Solo local após ruptura – Santa Rosa 74
Figura 45 – Comparação das tensões obtidas para Coronel Barros – placa 48 cm 86
Figura 46 - Comparação das tensões obtidas para Ijuí – placa 48 cm..... 87
Figura 47 - Comparação das tensões obtidas ara Ijuí - placa 80 cm 87
Figura 48 - Comparação das tensões obtidas para Santa Rosa – placa 48 cm 88
Figura 49 - Comparação das tensões obtidas para Santa Rosa – placa 80 cm 89
Figura 50 – Comparação dos métodos de recalque – Coronel Barros..... 90
Figura 51 - Comparação dos métodos de recalque – Ijuí 91
Figura 52 - Comparação dos métodos de recalque – Santa Rosa..... 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de forma De Beer (1967) 31
Tabela 2 - Tabela NBR 6122/96 33
Tabela 3 - Fatores de segurança e coeficiente de minoração de compressão 35
Tabela 4 – Fator de Influência 37
Tabela 5 – Leituras do Ensaio de Placa em Coronel Barros - placa 48 cm 57
Tabela 6 - Leituras Ijuí - placa 48 cm 61
Tabela 7 – Leituras Ijuí – placa 80 cm 62
Tabela 8 - Leituras Santa Rosa - placa 48 cm 68
Tabela 9 - Leituras Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm 70
Tabela 10 – Valores de coesão 76
Tabela 11 - Peso específico de solos argilosos 76
Tabela 12 - Valores de Terzaghi simulando placa de 48 cm 77
Tabela 13 - Valores de Terzaghi simulando placa de 80 cm 77
Tabela 14 - Valores de Nspt considerando diâmetro de 48 cm 78
Tabela 15 - Valores de Nspt considerando diâmetro de 80 cm 78
Tabela 16 – Limites de Ruver e Consoli simulando sapata circular de 48 cm 78
Tabela 17 - Limites de Ruver e Consoli simulando sapata circular de 80 cm 79
Tabela 18 – Tensões admissíveis por Teixeira e Godoy para 48 cm 79
Tabela 19 - Tensões admissíveis por Teixeira e Godoy simulando sapata de 80 cm 79
Tabela 20 - Tensões admissíveis por Mello simulando sapata de 48 cm 80
Tabela 21 - Tensões admissíveis por Mello simulando sapata de 80 cm 80
Tabela 22 - Coeficiente de Poisson (Teixeira e Godoy, 1996) 81
Tabela 23 – Recalques pela Teoria da Elasticidade 81
Tabela 24 - Recalques por Schultze e Sehrif 82
Tabela 25 - Recalques por Ruver 82
Tabela 26 - Recalques por Burland e Burbidge 83
Tabela 27 – Comparação das tensões caso Cel. Barros – placa 48 cm 85
Tabela 28 - Comparação das tensões caso Ijuí – placa 48 cm 86
Tabela 29 - Comparação das tensões caso Ijuí – placa 80 cm 86
Tabela 30 - Comparação das tensões caso Santa Rosa – placa 48 cm 88

Tabela 31 - Comparação das tensões caso Santa Rosa – placa 80 cm 88

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	Association of State Highway and Transportation
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPT	Cone Penetration Test
HRB	Highway Research Board
IRP	Índice de Resistência à Penetração
LEC	Laboratório Engenharia Civil
SPT	Standard Penetration Test
SUCS	Sistema Unificado de Classificação do Solo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UNIJUÍ	Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

N_{SPT}: resultado do ensaio SPT (número de golpes)

$N_{SPT,72}$: valor do ensaio SPT, considerando a transmissão de 72% da energia de cravação (número de golpes)

$N_{SPT,60}$: valor do ensaio SPT, considerando a transmissão de 60% da energia de cravação (número de golpes)

$\in$: energia potencial padrão teórica para um peso de martelo e altura de queda padronizados no ensaio SPT

B: uma dimensão conveniente da fundação (lado/diâmetro da fundação)

L: comprimento de uma fundação

P: força vertical de compressão

h: altura

σ: valor médio da tensão aplicada

σ_r: capacidade de carga

Fs: fator de segurança

q_a: capacidade de carga admissível

C_1 e C_2: curvas típicas da relação tensão x recalque

σ_r: ponto característico da curva C_1

σ'_r: ponto característico da curva C_2

$N_c, N_q, e\ N_\gamma$: fatores de capacidade de carga

c: fator de coesão do solo

γ: peso específico

$S_c, S_q\ e\ S_\gamma$: fatores de forma

ϕ: ângulo de atrito interno

c': fator de coesão do solo corrigido

ϕ': ângulo de atrito interno corrigido

$N'_c, N'_q, e\ N'_\gamma$: valores de capacidade de carga referentes ao ângulo interno corrigido

σ'_{rup}: é a carga de ruptura para os valores de parâmetro de resistência do solo aplicados de correção

Ψ: constante de determinação de N_{SPT} a partir de q_c

σ_{25}: a tensão correspondente a um recalque de 25 mm

σ_{10}: é a tensão correspondente a um recalque de 10 mm

σ_{adm}: tensão admissível

σ_R: carga de ruptura

ρ: valor de recalque

ρ_i: recalque imediato

v: coeficiente de Poisson

q : tensão distribuída uniformemente sobre uma fundação ou placa

I: fator de influência

B_p: diâmetro da placa

B_f: diâmetro da fundação

n: relação da largura da fundação x largura da placa

ρ_p: recalque imediato da placa

ρ_f: recalque imediato da fundação

E_s: modulo de deformabilidade

$\sigma_{r\ med}$: valor médio da capacidade de carga

q_c: valor obtido através do ensaio CPT

I_p: fator de influência da fundação

D: profundidade de apoio da fundação

F: coeficiente de recalque

H: variável de recalque para Ruver (2005)

I_c: variável de recalque para Burlund e Burbidge (1985)

N_{corr}: valor de N_{SPT} corrigido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17

1.1 MOTIVAÇÃO PESSOAL 18

1.2 CONTEXTO 18

1.3 PROBLEMA 18

1.3.1 Questões de Pesquisa 19

1.3.2 Objetivos de Pesquisa 19

1.3.3 Delimitação 20

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21

2.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO 21

2.2 FUNDAÇÕES 22

2.2.1 Fundações Superficiais 22

2.2.2 Fundações Profundas 23

2.3 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS 23

2.3.1 Standard Penetration Test (SPT) 23

2.3.2 Correção dos valores de NSPT 25

2.3.3 Ensaios de Placa 25

2.4 CAPACIDADE DE CARGA DE SAPATAS 26

2.5 MODOS DE RUPTURA 27

2.6 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA 28

2.6.1 Teoria de Terzaghi 29

2.6.2 Método de Ruver e Consoli 31

2.6.3 Método de Teixeira e Godoy 32

2.6.4 Método de Mello 32

2.6.5 Tabela NBR 6122/1996 32

2.6.6 Prova de Carga em Placa 33
2.7 TENSÃO ADMISSÍVEL 34
2.7.1 Determinação da Tensão Admissível 34
2.8 RECALQUES 36
2.9 MODELOS PARA PREVISÃO DE RECALQUES 36
2.9.1 Teoria da Elasticidade 36
2.9.2 Método de Schultze e Sherif 37
2.9.3 Método de Ruver 38
2.9.4 Método de Burland & Burbidge 39
2.9.5 Prova de Carga em Placa 39
3 METODOLOGIA 42
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA 42
3.2 DELINEAMENTO 42
3.3 ENSAIOS DE PLACA 44
3.3.1 Equipamentos necessários 44
3.3.2 Execução dos Ensaios de Placa 46
3.4 ENSAIOS SPT 46
3.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA 47
3.5.1 Análise Granulométrica 47
3.5.2 Limites de Consistência 47
3.5.3 Compactação e Índice de Suporte dos Solos 47
3.6 METODOLOGIAS DE CÁLCULO 47
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 48
4.1 LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS 48
4.1.1 Coronel Barros 49

4.1.2 Ijuí **50**

4.1.3 Santa Rosa **51**

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO 51

4.2.1 Solo de Coronel Barros **51**

4.2.2 Solo de Ijuí **53**

4.2.3 Solo de Santa Rosa **55**

4.3 ENSAIOS DE CARREGAMENTO EM PLACA 56

4.3.1 Coronel Barros **56**

4.3.1.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga *59*

4.3.1.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque *60*

4.3.2 Ijuí **60**

4.3.2.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga *64*

4.3.2.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque *66*

4.3.3 Santa Rosa **68**

4.3.3.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga *72*

4.3.3.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque *74*

4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SONDAGEM SPT 75

4.4.1 Coronel Barros **75**

4.4.2 Ijuí **75**

4.4.3 Santa Rosa **75**

4.5 CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA 76

4.5.1 Teoria de Terzaghi **76**

4.5.2 Método de Ruver e Consoli **77**

4.5.3 Método de Teixeira e Godoy **79**

4.5.4 Método de Mello **79**

4.5.5 Tabela NBR 6122/1996 80

4.6 CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DE RECALQUES 80

4.6.1 Teoria da Elasticidade 80

4.6.2 Método de Schultze e Sherif 81

4.6.3 Método de Ruver 82

4.6.4 Método de Burland & Burbidge 82

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 84

5.1 CONCLUSÕES 84

5.1.1 Quanto aos ensaios de caracterização geotécnica 84

5.1.2 Quanto aos ensaios de sondagem SPT 84

5.1.3 Quanto aos ensaios de carregamento em placas 84

5.1.4 Quanto aos métodos de estimativa de tensão admissível 85

5.1.5 Quanto aos métodos de estimativa de recalque 90

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 93

REFERÊNCIAS 94

APÊNDICE A – TABELA DE LEITURAS CEL. BARROS – PLACA 48 CM..... 97

APÊNDICE B - TABELA DE LEITURAS IJUÍ – PLACA 48 CM 99

APÊNDICE C - TABELA DE LEITURAS IJUÍ – PLACA 80 CM 101

APÊNDICE D - TABELA DE LEITURAS STA. ROSA – PLACA 48 CM 103

APÊNDICE E - TABELA DE LEITURAS STA. ROSA – PLACA 80 CM 104

ANEXO A – RELATÓRIO DE SONDAGEM – CEL. BARROS 105

ANEXO B - RELATÓRIO DE SONDAGEM – IJUÍ 106

ANEXO C - RELATÓRIO DE SONDAGEM – STA. ROSA 107

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa fundamenta se na área de engenharia de fundações, mais especificamente, visa estudar os solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul quanto a sua capacidade de carga e recalque.

Segundo Das (2007), em geral, a parte inferior de uma estrutura é denominada fundação, e sua função é transferir a carga da estrutura para o solo que a mesma está apoiada. Uma fundação projetada corretamente transfere a carga para o solo sem causar sobrecarga. A sobrecarga excessiva pode resultar em recalques excessivos ou rupturas por cisalhamento no solo, o que danifica a estrutura. Por isso a necessidade de avaliação da capacidade de carga de solos para a projeção de estruturas de fundação.

A engenharia de fundações pode ser definida como a arte de aplicar cargas estruturais ao terreno, da maneira mais econômica possível, evitando deformações excessivas. (SIMONS; MENZIES, 1981)

De acordo com Terzaghi e Peck (1962), o passo mais importante no projeto de uma fundação é a determinação da tensão máxima que pode ser aplicada no solo, sem causar a ocorrência de ruptura do mesmo nem apresentar recalques excessivos.

Segundo Milititisky, Consoli e Schnaid (2006) *apud* Schnaid e Odebrecht (2012) quanto à segurança, os aspectos relacionados à investigação das características do subsolo são as causas mais frequentes de patologias em fundações.

Face o exposto acima, conclui-se que o estudo do terreno a ser implementado uma obra é de vital importância para a segurança e sucesso de um empreendimento construtivo, sendo que erros de investigação geotécnica podem resultar em problemas de infra e macroestrutura em uma edificação.

Assim, este estudo faz-se importante para a região, pois visa comparar métodos de cálculo de capacidade de carga e ruptura utilizados pelo meio, com resultados de ensaios de carregamento em placas, que, segundo Quaresma, Quaresma Filho e Décort (1998) apesar de encontrar-se quase

em desuso, o ensaio de carregamento em placa ainda é um dos melhores métodos de determinação das características de deformação do subsolo.

1.1 MOTIVAÇÃO PESSOAL

Como motivação pessoal para a escolha desta temática para trabalho de conclusão de curso (TCC), levou-se em consideração, além da afinidade pelo tema, o fato da autora ter sido integrante do grupo de pesquisa institucional, intitulado "Estudo da Capacidade de Carga e Recalque de Solos Residuais do Noroeste do Rio Grande do Sul", vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para Construção, sendo bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Cientifica (PIBIC/UNIJUÍ), até agosto de 2015.

1.2 CONTEXTO

"Um dos maiores riscos que se pode correr no campo de Engenharia de Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do *terreno (rocha ou solo) de fundação. "* (CAPUTO, 1977)

Assim, para Russi (2007), o processo de dimensionamento de uma fundação necessita de uma definição clara e objetiva do profissional, e uma das formas mais seguras de se definir a capacidade de carga e os recalques que serão submetidos a uma estrutura é através da análise das informações advindas dos ensaios de carregamento em placa, pois este reproduz, em escala reduzida, o comportamento real do sistema solo-fundação a ser construído, contribuindo para um melhor desenvolvimento das obras de fundação.

Ainda para Russi (2007), o alto custo para a realização do ensaio e a falta de disponibilidade de um sistema de reação adequado são os motivos principais pelos quais não é usual a execução do mesmo em obras corriqueiras.

1.3 PROBLEMA

Segundo Ruver (2005), os solos residuais apresentam uma configuração geológica e histórica de formação bastante distinta dos solos sedimentares. Enquanto estes se apresentam geralmente em camadas de areia ou argila, os solos residuais apresentam uma composição bastante variada. Os conceitos clássicos da mecânica dos solos foram desenvolvidos a partir do estudo do

comportamento de areias e argilas, sendo que durante muitos anos estes conceitos têm sido utilizados para qualquer tipo de solo, independentemente do estado em que se encontram e composição granulométrica. Este fato tem trazido dúvidas e preocupações sobre a real validade dos parâmetros obtidos por estas metodologias quando aplicadas a outros tipos de solos.

Para Russi (2007), o avanço tecnológico que a construção civil tem desenvolvido (seja através da aplicação de novos métodos construtivos, ou novos processos de cálculo) deve ser acompanhado pelo desenvolvimento e aplicação de ensaios específicos para a determinação de parâmetros de comportamento e de capacidade de carga do solo, juntamente com o estudo de recalques.

Para o correto dimensionamento de fundações superficiais, argumentou Russi (2007): é necessário que o profissional estime de forma clara e objetiva, para determinado solo, a capacidade de carga e a previsão dos recalques que atuarão na estrutura, baseado nas características do maciço de solo obtidas em investigações de campo e/ou ensaios laboratoriais.

1.3.1 Questões de Pesquisa

A partir do problema, foi definida como questão geral de pesquisa:

- Qual a capacidade de carga e recalque dos solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul?

Desta questão principal, surgem outras, secundárias, como:

- Os modelos de cálculo utilizados pela comunidade profissional representam adequadamente esses solos?
- Qual o tipo de ruptura apresentada por esses solos depois da aplicação de carga?

1.3.2 Objetivos de Pesquisa

Como objetivo geral, esta pesquisa visa estudar o comportamento dos solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul, quanto a sua capacidade de carga, e os recalques gerados pela aplicação de carga, através da realização de ensaios de campo.

Como objetivo específico, esta pesquisa visa comparar os valores de tensão admissível e de ruptura obtidos em campo, através dos ensaios de carregamento em placas, com os valores obtidos

através de diversas teorias. Complementarmente, pretende-se validar para os solos estudados, especificamente, métodos de cálculo desenvolvidos para previsão do comportamento de solos residuais propostos pelo Prof. Dr. César Alberto Ruver (RUVER, 2005),citados e detalhados em Schnaid e Odebrecht (2012).

1.3.3 Delimitação

Este trabalho de conclusão de curso será desenvolvido em cinco partes:

1º: Introdução aos aspectos básicos referentes ao tema abordado, assim como a contextualização e objetivos da pesquisa.

2º: Revisão Bibliográfica de materiais relacionados ao estudo desta pesquisa, subdivididos em tópicos, onde são abordados os seguintes temas: classificação geotécnica dos solos, caracterização e tipos de fundações, investigações geotécnicas, definição e métodos de cálculos de capacidades de cargas, definição e métodos de cálculos de recalques, conceito de tensão admissível e determinação da mesma.

3º: Metodologia, onde são descritos os métodos de cálculo, os ensaios a serem realizados, sua maneira de execução e a norma regente dos mesmos.

4º: Apresentação e Análise dos Resultados obtidos durante a realização das atividades descritas na metodologia.

5º: Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros, onde se apresentam as conclusões obtidas pelo desenvolvimento deste trabalho e deixa-se algumas sugestões para a continuação deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capitulo, abordam-se a conceituação de assuntos relevantes para o desenvolvimento do estudo de capacidade de carga e recalques de fundações superficiais, desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso.

Os próximos tópicos abordarão sobre a classificação do solo, tipos de fundação, tipos de investigações geotécnicas, conceito de capacidade de carga, modos de ruptura do solo, métodos de cálculo de estimativa da capacidade de carga, conceito de tensão admissível, conceito de recalque, e por fim, modelos de cálculo para previsão de recalques.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Segundo Pinto (1998), o objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é tentar estimar o seu provável comportamento. A diversidade e a diferença de comportamentos do solo levaram ao seu natural agrupamento, em conjuntos separados, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades.

De acordo com Oliveira e Brito (2011), as classificações genéricas mais utilizadas em geologia para engenharia são as classificações geológica e pedológica. Estas são ferramentas de grande utilidade, pois ajudam a interpretar a distribuição e o comportamento das diferentes camadas de uma determinada área. Contudo, apesar da sua utilidade, necessitam de interpretação adequada, pois não permitem prever diretamente as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos de interesse para obras de engenharia.

Quanto a sua origem, podem ser classificados entre dois gêneros: residuais e transportados. Segundo Oliveira e Brito (2011), **solos residuais** são aqueles que permanecem no local onde foram formados pela decomposição das rochas através do fenômeno de intemperismo, tanto químico quanto físico. **Solos transportados** são aqueles que sofreram transporte por agentes geológicos (chuva, rios, vento, etc.) do seu local de origem até o seu local de depósito, onde se encontram atualmente.

De acordo com Das (2007), atualmente, dois sistemas tradicionais de classificação são usualmente utilizados, ambos levam em consideração a distribuição granulométrica e os limites de

plasticidade de Atterberg. Eles são o sistema de classificação HRB (*Highway Research Board*) da *American Association of State Highway and Transportation* (AASHTO) e o Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS).

2.2 FUNDAÇÕES

De acordo com Terzaghi e Peck (1962), se as camadas superficiais de determinado solo forem consideradas adequadas para sustentação de uma determinada estrutura, esta pode ser diretamente apoiada nesta camada de solo por meio de uma fundação superficial. Entretanto, se estas camadas superficiais apresentarem características de capacidade de carga não suficientes para esta mesma estrutura, utiliza-se fundações profundas, transferindo-se as cargas atuantes na estrutura para as camadas mais profundas do solo, se estas apresentarem um comportamento melhor que as camadas superficiais.

2.2.1 Fundações Superficiais

Segundo a NBR 6122/2010 "*Projeto e execução de fundações*, fundação superficial é o elemento estrutural de fundação em que a carga é transmitida ao terreno 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 (ABNT, 2010).

Assim, as fundações superficiais podem ser classificadas como: sapata, bloco, radier, sapata associada e sapata corrida.

Conforme a NBR 6122/2010:

- Sapata é o elemento estrutural de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego da armadura especialmente disposta para este fim. (ABNT, 2010)
- Bloco é o elemento estrutural de fundação superficial do concreto, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura. (ABNT, 2010)
- Radier é o elemento estrutural de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos. (ABNT, 2010)
- Sapata associada como a sapata que abrange mais de um pilar. (ABNT, 2010)

- Sapata corrida como a sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de um conjunto de pilares ao longo de um mesmo alinhamento. (ABNT, 2010)

2.2.2 Fundações Profundas

De acordo com a NBR 6122/2010, fundação profunda é o elemento estrutural de fundação que transmite a carga 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. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões. (ABNT, 2010)

2.3 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Segundo a NBR 6122/2010, para toda e qualquer edificação, deve-se, no mínimo, realizar sondagens a percussão (com SPT), de acordo com a NBR 6484 *"Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio"*, com a finalidade de determinar a estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT}. Dependendo dos resultados obtidos, pode ser necessário investigações complementares. (ABNT, 2010)

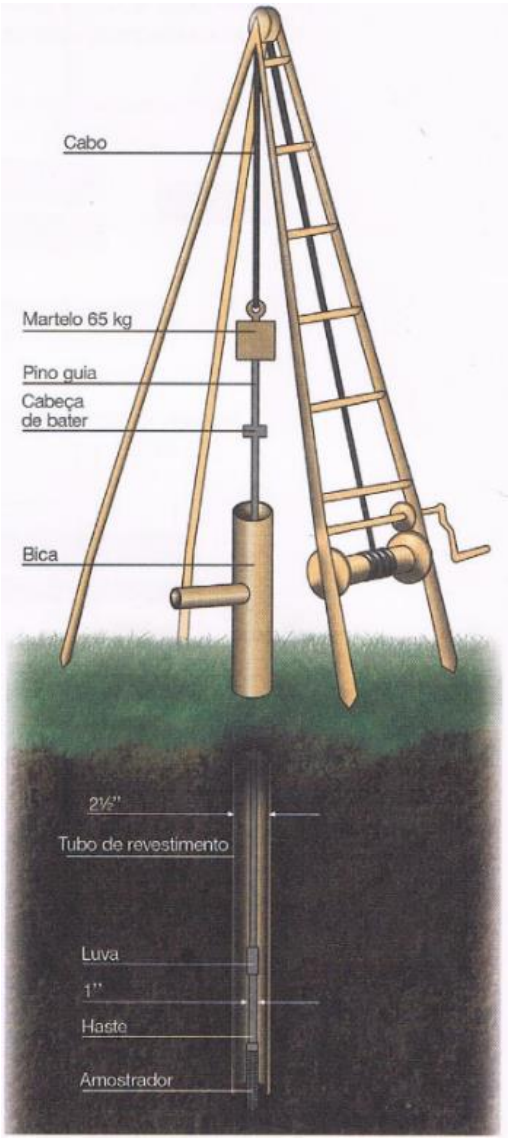
2.3.1 Standard Penetration Test (SPT)

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o SPT é uma média da resistência dinâmica associada a uma sondagem, possibilitando a determinação das camadas de solo existente. A perfuração é obtida por tradagem ou circulação de água, utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. A Figura 1 ilustra o tipo de equipamento utilizado para execução do ensaio.

De acordo com a Associação Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental (ABGE) (2013), o índice de resistência à penetração (IRP), comumente chamado de SPT é executado para cada metro de profundidade avançada durante a sondagem, e consiste na cravação de um amostrador de solo padrão, através de golpes (manuais ou mecânicas) de um peso de 65 kg solto a uma altura de 75 cm. Anota-se a quantidade de golpes necessários para fazer com que o amostrador penetre três vezes 15 cm do solo, ou seja, 45 cm.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), esse quantitativo de golpes é chamado de N_{SPT}. Os resultados desse ensaio são apresentados em uma planilha padrão, que contém as informações de características do solo, o valor de N_{SPT} para cada metro perfurado, profundidade do nível freático (se existente), posição e cota do furo.

Figura 1 - Equipamento de sondagem



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012)

Outros ensaios de campo podem ser executados, como o ensaio de cone (CPT), normatizado pela NBR 12069, cujos valores de ensaios podem ser relacionados com os valores de ensaios SPT, esses encontram-se detalhados em Schnaid e Odebrecht (2012).

2.3.2 Correção dos valores de NSPT

Ruver e Consoli (2006) adotam como correção a média aritmética dos valores de N_{SPT} compreendidos na profundidade de $2B$ abaixo da base da fundação (Equação 1). Uma vez que as metodologias de execução de ensaios SPT variam dependendo do país, é necessário a uniformização dos valores de N_{SPT} em termos da energia de cravação. Considerando uma energia de cravação de 72% da energia teórica para os casos brasileiros, faz-se a correção dos valores de N_{SPT} para o padrão internacional de 60% de aproveitamento de energia teórica:

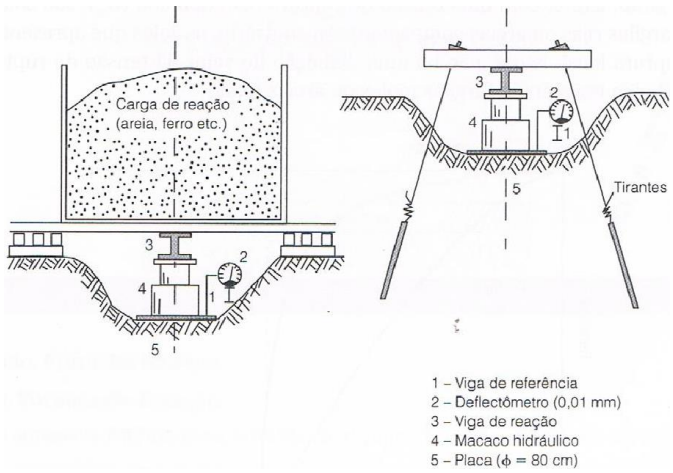
$$N_{SPT,60} = \frac{N_{SPT,72}.\,0{,}72.\,\epsilon}{0{,}60.\,\in} = 1{,}20 N_{SPT,72} \tag{1}$$

Onde: $N_{SPT,72}$ é o valor do ensaio SPT, considerando a transmissão de 72% da energia de cravação (número de golpes); $N_{SPT,60}$ é o valor do ensaio SPT, considerando a transmissão de 60% da energia de cravação; e $\in$ é a energia potencial padrão teórica para um peso de martelo e altura de queda padronizados no ensaio SPT.

2.3.3 Ensaios de Placa

Segundo Alonso (2012), este ensaio visa reproduzir o comportamento da solicitação de uma fundação superficial. Costuma ser realizado empregando-se uma placa de aço rígida a qual é carregada por um macaco hidráulico que reage contra uma carga de reação. A Figura 2 ilustra o sistema de equipamentos necessário para a execução do ensaio.

Figura 2 - Sistema para execução do ensaio de placa



Fonte: Alonso (2012)

Segundo Ruver (2005), objetivando a verificação do comportamento carga-recalque de um solo destinado a uma futura fundação, por facilidade, tem-se utilizado placas de metal, nas quais são aplicados diferentes carregamentos para execução de provas de carga. Esse procedimento é denominado de ensaio de placas.

De acordo com Caputo (1977), esses ensaios, no passado, foram de grande importância para a determinação da capacidade de carga dos solos. A partir de conhecimentos de mecânica dos solos sobre distribuição de pressões, admite-se que os bulbos de tensão das placas, analisados nos ensaios de placas, e o da fundação real a ser construída no local do ensaio, podem não apresentar a mesma correlação entre si, uma vez que, os bulbos referentes às placas não atingem, por totalidade, o bulbo referente às fundações.

Para Caputo (1977), entretanto, se, através de ensaios de sondagem, certificarmo-nos que que as características do solo são homogêneas, ou, então que as mesmas melhoram nas camadas mais profundas do solo, os ensaios de placas se tornam convenientes em um estudo de fundações.

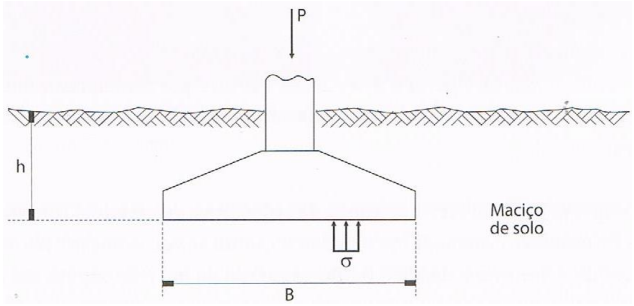
2.4 CAPACIDADE DE CARGA DE SAPATAS

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2014), conforme indicado na Figura 3, considerando uma sapata de concreto armado, com uma base retangular com largura B e comprimento L, instalada no maciço de um solo a uma profundidade h em relação à cota da superfície. A aplicação de uma força vertical de compressão P no topo da sapata dá movimento às tensões resistentes no maciço de solo, que, no contato sapata-solo, são normais à base da sapata, com valor médio da tensão aplicada σ definido pela equação 2 abaixo:

$$\sigma = \frac{P}{BL} \tag{2}$$

Pelo princípio de ação e reação, essa tensão é aplicada ao solo pela sapata. Assim, forma-se um sistema sapata-solo, formado pelo elemento estrutural de fundação e pelo elemento geotécnico (maciço de solo), ilustrado na Figura 3. (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2014)

Figura 3 - Sistema sapata-solo



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2014)

O aumento sucessivo da força P, e consequentemente da tensão σ provoca a ocorrência de uma superfície com potencial de ruptura localizada no interior do maciço do solo. Na proximidade da ruptura, haverá um estímulo da resistência máxima do sistema sapata-solo, denominado de **capacidade de carga** do elemento estrutural de fundação por sapata, representado por σ_r.

Observa-se na Figura 3, no caso exclusivo de sapatas, que a reação a força aplicada no seu topo ocorre diretamente na base, o que originou a denominação fundação direta para o sistema sapata-solo. (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2014)

2.5 MODOS DE RUPTURA

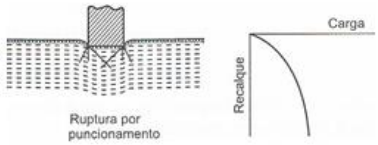
A capacidade de carga geotécnica está associada a um mecanismo de ruptura de diferentes características, que, pode tanto caracterizar uma ruptura do tipo frágil, onde a sapata pode apresentar um movimento de giro, levantando uma porção do maciço do solo em que se encontra apoiada para cima da superfície do terreno (ruptura geral); como uma ruptura do tipo dúctil, caracterizada por deslocamentos significativos da sapata para baixo, sem desaprumar (ruptura por puncionamento). (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2014)

Segundo Vesic (1975), *apud* Cintra, Aoki e Albiero; (2003), consideram-se três gêneros de ruptura do maciço do solo de um elemento isolado de fundação: ruptura geral, ruptura local e ruptura por puncionamento, detalhados a seguir:

A **ruptura por puncionamento** (Figura 4), ao contrário dos outros dois gêneros de ruptura, não é fácil de ser observada. Com a atuação da carga aplicada, o elemento estrutural de fundação tende a afundar significativamente, em virtude da compressão do solo subjacente. O solo externo

à área carregada praticamente não é afetado e não há movimento do solo na superfície. O equilíbrio da fundação nos sentidos vertical e horizontal é mantido. (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2003)

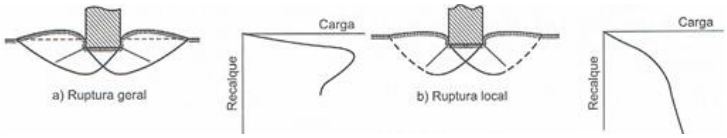
Figura 4 - Ruptura por puncionamento



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2003)

A **ruptura geral** (Figura 5 a), é definida por apresentar uma superfície de deslizamento contínua que vai da borda da base do elemento estrutural de fundação até a superfície do terreno. Já a **ruptura local** (Figura 5 b) é nitidamente ocorrida apenas sob o elemento estrutural de fundação. (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2003)

Figura 5 - Ruptura geral (a) e local (b)



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2003)

Para Cintra, Aoki e Albiero, (2014), para fundações superficiais, considera-se que ocorre ruptura geral em solos mais resistentes, como areias compactas a muito compactas. A ruptura por puncionamento ocorre em solos mais deformáveis, como areias pouco compactas a fofas e argilas moles a muito moles. E por fim, a ruptura local ocorre em solos de média compacidade ou consistência, como areias medianamente compactadas e argilas médias.

Vesic (1975), *apud* Cintra, Aoki e Albiero; (2003), salienta que o modo de ruptura não depende apenas da rigidez do solo, e sim também do efeito do aumento da justaposição da sapata no maciço do solo.

2.6 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA

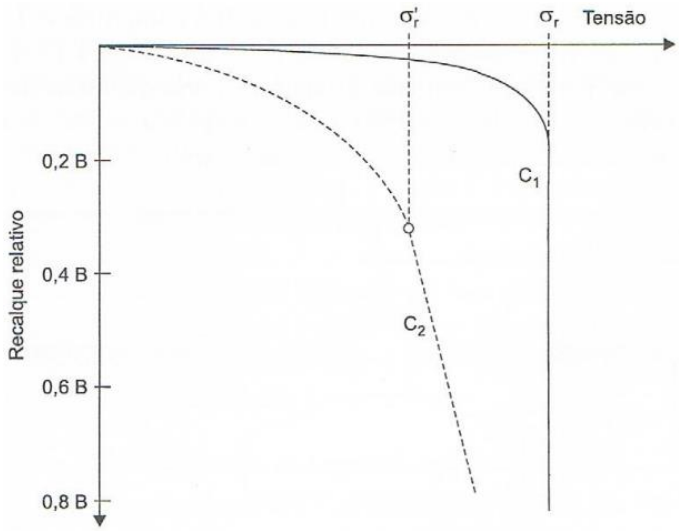
Devido à grande quantidade de métodos de estimativa de capacidade existentes, fez-se necessário escolher quais métodos seriam abordados neste trabalho. Os métodos discutidos nos

itens a seguir foram selecionados por terem sido estudados durante o período de graduação na disciplina de fundações, e por serem bastante divulgados na área da engenharia de fundações.

2.6.1 Teoria de Terzaghi

Terzaghi (1943) define dois gêneros de ruptura do maciço do solo, representados por meio de curvas típicas (Figura 6), e C_1 e C_2, da relação tensão- recalque. (CINTRA; AOKI; ALBIERO; 2003)

Figura 6 - Curvas típicas tensão-recalque



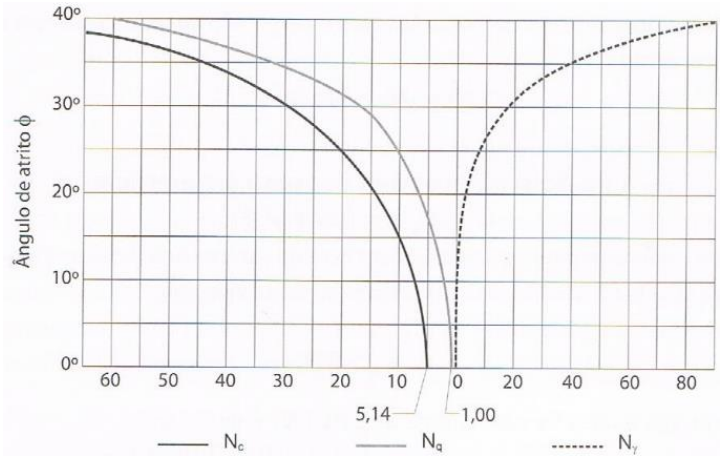
Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2003)

Obtém-se ruptura geral, se o solo é rijo ou compacto, sendo assim, a curva da tensão-recalque é do tipo C_1, e a ruptura é perfeitamente caracterizada pela abscissa σ_r da tangente vertical à curva. (CINTRA; AOKI; ALBIERO; 2003)

A ruptura local, entretanto, é obtida em solos fofos ou moles, sendo a curva tensão- recalque do tipo C_2, com uma ruptura não bem definida. Nesse caso, a capacidade de carga é arbitrada por Terzaghi como sendo a abscissa σ'_r do ponto a partir do qual a curva se torna retilínea. Ainda hoje a definição de um critério de ruptura adequado para a interpretação da curva tensão- recalque que não evidencia ruptura, como no caso de C_2 é motivo de polêmica. (CINTRA; AOKI; ALBIERO; 2003)

Terzaghi e Peck (1967) considera três efeitos no desenvolvimento de sua fórmula: (**a**) solo sem peso e sapata à superfície ($c \neq 0, h = 0\ e\ \gamma = 0$); (**b**) solo não coesivo e sem peso ($c = 0, h \neq 0\ e\ \gamma = 0$); (**c**) solo não coesivo e sapata à superfície ($c = 0, h = 0\ e\ \gamma \neq 0$), onde, para cada situação, é determinado um fator de capacidade de carga, $N_c, N_q, e\ N_\gamma$. Esses coeficientes são adimensionais e podem ser obtidos em função do ângulo de atrito ϕ do solo, pela Figura 7. (CINTRA; AOKI; ALBIERO; 2014)

Figura 7 - Fatores de capacidade de carga



Fonte: Terzaghi e Peck (1967) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2003)

Para Cintra, Aoki e Albiero (2014), considerando a sobreposição dos três efeitos de caso analisados anteriormente, chegou-se a à equação 3 para a capacidade de carga do sistema sapata-solo:

$$\sigma_r = c.N_c + q.N_q + \frac{1}{2}.\gamma.B.N_\gamma \tag{3}$$

Onde c é o fator de coesão do solo, γ é o peso especifico da água, e B é a base da fundação e as três parcelas da equação representam, respectivamente, as contribuições da coesão, sobrecarga e peso específico.

Vesic (1975) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2014) sugere aplicar-se os fatores de forma De Beer (1967, *apud* Vesic, 1975) (Tabela 1), que dependem não apenas da geometria da sapata, mas como do ângulo de atrito interno do solo.

Tabela 1 - Fatores de forma De Beer (1967)

Sapata	$\boldsymbol{S_c}$	$\boldsymbol{S_q}$	$\boldsymbol{S_\gamma}$
Corrida	1,00	1,00	1,00
Retangular	$1 + (B/L)(N_q/N_c)$	$1 + (B/L)tg\phi$	$1 - 0{,}4(B/L)$
Circular ou Quadrada	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + tg\phi$	0,60

Fonte: De Beer (1967) apud Cintra, Aoki e Albiero (2014)

De acordo com Cintra, Aoki e Albiero (2014), posteriormente agruparam-se esses conceitos em uma equação geral da capacidade de carga na ruptura geral, que considera a forma da sapata representada pela equação 4:

$$\sigma_r = c.N_c.S_c + q.N_q.S_q + \frac{1}{2}.B.\gamma.N_\gamma.S_\gamma \tag{4}$$

Para solos que apresentam ruptura por puncionamento, segundo Terzaghi (1943) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2014), propõem-se a utilização da mesma equação da ruptura geral, aplicando uma redução empírica nos parâmetros de resistência do solo (c e ϕ), conforme equações 5 e 6:

$$c' = \frac{2}{3}c \tag{5}$$

$$tg\phi' = \frac{2}{3}tg\phi \tag{6}$$

Onde c é o fator de coesão do solo, ϕ é o ângulo de atrito interno, e c' e ϕ' são os respectivos parâmetros corrigidos.

2.6.2 Método de Ruver e Consoli

Em Ruver e Consoli (2006) apresentou-se um modelo semiempírico desenvolvido para a determinação da tensão admissível em fundações superficiais para areias em solos residuais, considerando resultados de ensaios SPT. A metodologia desenvolvida é baseada em procedimentos estatísticos de uma sucessão de resultados de ensaios de carga em placas e seus respectivos valores de ensaios SPT. Com o intuito de desenvolver um modelo onde se utilize um valor único de N_{SPT} que seja representativo do solo estudado, adotou-se a correção dos valores de N_{SPT} baseado na média aritmética de valores compreendidos na profundidade $2B$ abaixo da base da maior fundação/placa. Assim, foi possível estabelecer um limite superior (Equação 7) e inferior (Equação 8) de variação de tensão admissível:

$$q_a = 9{,}54.N_{SPT,60} + 6{,}41.\sqrt{N_{SPT,60}^2} - 20{,}3.N_{SPT,60} + 167{,}3 \text{ (limite superior)} \quad (7)$$

$$q_a = 9{,}54.N_{SPT,60} - 6{,}41.\sqrt{N_{SPT,60}^2} - 20{,}3.N_{SPT,60} + 167{,}3 \text{ (limite inferior)} \quad (8)$$

Onde q_a é a tensão admissível em (kN/m²); $N_{SPT,60}$ é o valor do ensaio SPT, considerando transmissão de 60% da energia de cravação.

De acordo com Ruver e Consoli (2006), o método descrito foi desenvolvido para dimensões de fundações entre 0,30 m e 1,60 m. Sendo assim, não é aconselhável que se extrapole essas equações para dimensões fora deste intervalo. Além disso, deve ser utilizado para solos residuais que apresentam um perfil homogêneo, pelo menos até uma profundidade de duas vezes o lado ou diâmetro da fundação.

2.6.3 Método de Teixeira e Godoy

Segundo Teixeira e Godoy (1998), correlacionando provas de carga com a resistência à penetração, e utilizando o coeficiente de resistência média N encontrado do ensaio SPT, estima-se a tensão admissível a partir da Equação 12:

$$\sigma_{adm} = 0{,}02N \text{ (Mpa)} \quad (9)$$

Sendo esta equação válida para qualquer solo natural dentro do intervalo $5 \leq N \leq 20$

2.6.4 Método de Mello

Ruver (2005), apresenta uma série de métodos de cálculo para tensão admissível a partir de correlações com ensaios de campo, entre esses encontra-se o método de Mello (1975), que apresenta a equação 10, aplicada para qualquer tipo de solo.

$$\sigma_{adm} = 100(\sqrt{N_{SPT} - 1}) \text{ (MPa), com } 4 \leq N_{SPT} \leq 16 \quad (10)$$

2.6.5 Tabela NBR 6122/1996

Cintra, Aoki e Albiero (2014) apontam que nas versões da NBR 6122 anteriores a 2010, constava-se uma tabela de valores básicos de tensão admissível (Tabela 2), de base empírica, com base classificatória da consistência do terreno através de investigações de campo e/ou laboratoriais. Na versão atual, essa tabela foi suprimida, assim como proibido o uso de métodos empíricos para

a determinação da tensão admissível. Entretanto, a nova versão da norma também diz que a tabela pode ser adotada para fins de pré-dimensionamento.

Tabela 2 - Tabela NBR 6122/96

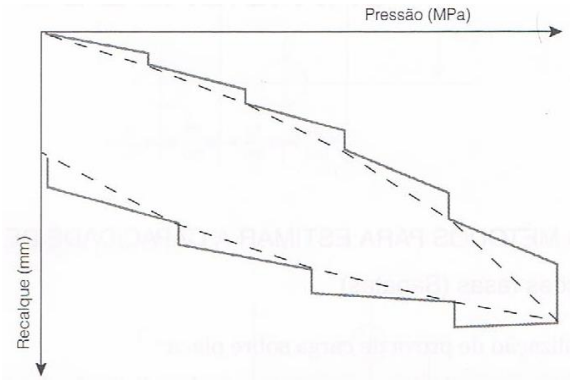
Classe	Solo	Valores básicos Mpa - kg/cm^2	
1	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição	5	50
	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas	3,5	35
3	Solos cocrecionados		
4	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, compactos	0,8	8
5	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, fofos	0,5	5
6	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, compactadas	0,8	8
7	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, fofas	0,4	4
8	Areias finas e médias:		
	Muito compactadas	0,6	6
	Compactadas	0,4	4
	Medianamente compactadas	0,2	2
9	Argilas e solos argilosos:		
	Consistência dura	0,4	4
	Consistência rija	0,2	2
	Consistência média	0,1	1
10	Siltes e solos siltosos:		
	Muito compactados	0,4	4
	Compactados	0,2	2
	Medianamente compactados	0,1	1

Fonte: ABNT (1996)

2.6.6 Prova de Carga em Placa

De acordo com Alonso (2012) com o valor da pressão aplicada, cuja leitura é realizada no manômetro acoplado ao macaco hidráulico, e o recalque medido nos deflectômetros instalados nas placas, é possível traçar a curva pressão-recalque (Figura 8).

Figura 8 - Curva tensão-recalque



Fonte: Alonso (2012)

Para Alonso (2012), a ordem de grandeza de tensão admissível do solo, baseando-se no resultado de uma prova de carga (desprezando-se o efeito do tamanho da sapata), é obtida através das Equações 11 e 12:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_R}{2} \text{ para solos com predominância de ruptura geral e;} \quad (11)$$

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{\sigma_{25}}{2} \\ \sigma_{10} \end{cases} \text{ para solos com predominância de ruptura local.} \quad (12)$$

Onde σ_{25} é a tensão correspondente a um recalque de 25 mm, e σ_{10} é a tensão correspondente a um recalque de 10 mm, σ_{adm} é a tensão admissível e σ_R é a carga de ruptura.

Ainda segundo Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), muitas regras têm sido utilizadas arbitrariamente para a determinação da capacidade de carga a partir de ensaios de placa, entre eles se encontram:

Limitação do recalque total:

Absoluto: 25mm (Código de Nova Iorque)
Relativo: 10% do diâmetro (Inglaterra)
d/30 (Norma Brasileira)

5% do diâmetro (Companucci e Gómez, 1980)

2.7 TENSÃO ADMISSÍVEL

O item 3.27 da NBR 6122/2010, define tensão admissível como a tensão adotada em projeto, que ao ser aplicada no solo através da estrutura de fundação atende, com coeficientes de segurança predeterminados, aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalque, vibrações, etc.). Já o item 7.3 estipula que essa tensão deve ser fixada a partir da aplicação dos métodos teóricos, semiempíricos e de prova de carga sobre placa.

2.7.1 Determinação da Tensão Admissível

A capacidade de carga (σ_r), apresentada no item 2.4, de **um** elemento isolado de fundação superficial, correspondente ao valor de tensão que provoca a ruptura do maciço de solo na qual está embutida a estrutura de fundação. Ao se considerar **todos** os elementos estruturais isolados de fundação direta de uma edificação, essa capacidade de carga não será constante, inclusive por conta

da não homogeneidade natural do maciço do solo. Haverá, então, diferentes valores de capacidade de carga, podendo-se adotar o valor médio ($\sigma_{r\ med}$) como valor representativo para a fundação. (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2014)

Para Cintra, Aoki e Albiero (2014), uma vez obtida a tensão média de ruptura, é necessário estabelecer que fração desse valor poderá atuar no solo com segurança mínima à ruptura. Assim, chegamos ao conceito de tensão admissível (σ_{adm}), caracterizada pela Equação 13:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{r\ med}}{F_s} \tag{13}$$

Onde F_s é um fator normatizado de segurança global e $\sigma_{r\ med}$ é o valor médio de capacidade de carga.

O item 6.2.1.1.1 da NBR 6122/2010 traz a Tabela 3 com valores a obedecer dos fatores de segurança a serem considerado nos cálculos de tensão admissível.

Tabela 3 - Fatores de segurança e coeficiente de minoração de compressão

Métodos para determinação da resistência última	Coeficiente de minoração da resistência última	Fator de segurança global
Semiempíricos [a]	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 2,5	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 2,5
Analíticos [b]	2,15	3,00
Semiempíricos ou analíticos [b] acrescidos de duas ou mais provas de carga, necessariamente executadas na fase de projeto, conforme 7.3.1	1,40	2,00
[a] Atendendo ao domínio de validade para o terreno local. [b] Sem aplicação de coeficientes de minoração aos parâmetros de resistência do terreno.		

Fonte: ABNT NBR 6122/201

No entanto, Aoki e Albiero (2014), ressalvam que depois da obtenção da tensão admissível, é necessário verificar se não haverá ocorrência de recalques excessivos. Se essa tensão conduzir a recalques inferiores ao valor admissível previamente estabelecido, será confirmada como tensão admissível. Caso contrário, o seu valor deve ser reduzido até que se obtenha recalques admissíveis.

2.8 RECALQUES

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2014), o recalque de uma sapata pode ser definido como o deslocamento vertical para baixo, da base da sapata em relação a uma referência fixa, indeslocável. Os recalques são provenientes das deformações originadas da diminuição de volume compreendido entre a base da sapata e o indeslocável.

A menos que as fundações sejam assentadas sobre rocha sã, algum recalque mensurável sempre ocorrerá. Os recalques diferenciais, em particular, devem ser contidos dentro de limites toleráveis estabelecidos, contudo, caso os recalques totais se tornem muito grandes, poderão ocorrer danos às utilidades (água, esgoto, etc.) e edifícios de altura elevada poderão sofrer inclinação (SIMONS; MENZIES, 1981).

2.9 MODELOS PARA PREVISÃO DE RECALQUES

Velloso e Lopes (2004) *apud* Ruver (2005) afirmam que a previsão de recalques em fundações superficiais é uma das tarefas mais difíceis da área geotécnica, sendo que os resultados obtidos por meio de modelos devem ser encarados apenas como estimativa. Os modelos para obtenção da previsão de recalque podem ser divididos em três grupos: racionais, semiempíricos e empíricos. Os modelos racionais relacionam parâmetros de deformabilidade obtidos em laboratório (como ensaios triaxiais e oedométricos) e em campo (do pressiômetro e provas de carga em placa). Nos modelos semiempíricos os parâmetros de deformabilidade são obtidos por correlação com ensaios de campo e de penetração (SPT e CPT). Por fim, os modelos empíricos são baseados em tabelas que fornecem valores de tensão admissível, que representam um considerado valor de recalque limite.

2.9.1 Teoria da Elasticidade

Segundo Cintra; Aoki e Albiero (2014), estima-se o recalque imediato (ρ_i), por meio da Teoria da Elasticidade Linear, apresentada na Equação 14:

$$\rho_i = \sigma B \left(\frac{1 - v^2}{E_s} \right) I_\rho \tag{14}$$

Onde σ é a tensão média na superfície de contato da base da fundação superficial com o topo da camada de argila; v é o coeficiente de Poisson do solo; E_s é o módulo de elasticidade do

solo; B é a menor dimensão da fundação; e I_ρ é o fator de influência dependente da forma e rigidez da fundação de Perloff e Baron (1976), obtido através da Tabela 4:

Tabela 4 – Fator de Influência

Fundação Flexível				Rígida
Forma	Centro	Canto	Médio	
Circular	1,00	0,64	0,85	
Quadrada	1,12	0,56	0,95	0,75
L/B= 1,5	1,36	0,67	1,15	0,99
L/B= 2,0	1,52	0,76	1,30	
L/B= 3,0	1,78	0,88	1,52	
L/B= 5,0	2,10	1,05	1,83	
L/B= 10	2,53	1,26	2,25	
L/B= 100	4,00	2,00	3,70	

Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2014)

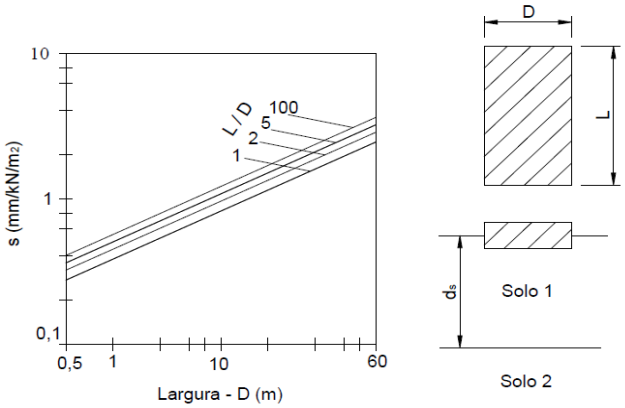
2.9.2 Método de Schultze e Sherif

Segundo Teixeira e Godoy (1998), baseando-se em correlações estatísticas entre medições de recalques de 48 casos reais de fundações em areias e índices de sondagem SPT, os autores Schultze e Sherif (1973) desenvolveram a Equação 15:

$$w = \frac{qF}{N^{0,87}(1 + \frac{0,4\,D}{B})} \tag{15}$$

Onde D é a profundidade de apoio da fundação e F é o coeficiente de recalque, estimado em função da relação da dimensão da fundação e dos lados da mesma (L/B), estipulado através do gráfico da Figura 9:

Figura 9 - Coeficiente de Recalque



Fonte: Ruver (2005)

2.9.3 Método de Ruver

Ruver (2005), desenvolveu um modelo para previsão de recalques com o objetivo de englobar os principais parâmetros responsáveis por este. Assim, optou-se por determinar uma expressão matemática de aplicação direta, através da análise de provas de carga, considerando-se três variáveis: resultados de ensaios de campo (N_{SPT} e/ou q_c), lado/diâmetro da fundação (B), e tensão aplicada na fundação (q). Esta análise foi feita a partir das curvas de carga-recalque, analisadas uma a uma e também em pequenos grupos de curvas, chegando-se a Equação para a determinação dos recalques em solos residuais:

$$\rho = \frac{0{,}308.q.B}{N_{SPT,60}^{0{,}93}} \text{ (Limite médio)} \tag{16}$$

Onde q é a tensão distribuída uniformemente sobre uma fundação ou placa (KN/m²), B é a dimensão de uma fundação ou placa, se quadrada é a medida do lado e se circular é o diâmetro (m) e $N_{SPT,60}$ é a média aritmética do número de golpes do ensaio SPT a uma profundidade $2B$ abaixo da base da fundação, e corrigida para um aproveitamento de energia 60%.

Onde H é calculado pela equação 19:

Segundo Ruver (2005), para a equação geral (16), definiu-se um intervalo de variação (intervalo de confiança), de modo que além do valor provável de recalque, é possível se determinar um valor provável máximo (equação 17) e mínimo (equação 18), e o valor de H é calculado pela equação 19:

$$\rho = \frac{0{,}505.q.B.10^{H}}{N_{SPT,60}^{0{,}93}} \text{ (Limite superior)} \tag{17}$$

$$\rho = \frac{0{,}188.q.B}{N_{SPT,60}^{0{,}93}.10^{H}} \text{ (Limite inferior)} \tag{18}$$

$$H = \sqrt{[\log(N_{SPT,60})]^2 - 2[\log(N_{SPT,60})]} + 1{,}11 \tag{19}$$

2.9.4 Método de Burland & Burbidge

Burland e Burbidge (1985) *apud* Schnaid (2012), criaram um método de estimativa de recalque para fundações assentes em areias (Equação 20), através de uma equação linear, baseada no estudo de uma análise estatística de mais de 100 casos de obras.

$$\rho = B^{0,7}.I_c.q \tag{20}$$

Onde o valor de I_c é calculado pela equação 21:

$$I_c = \frac{1,71}{N_{SPT}^{1,4}} \tag{21}$$

Segundo Burland e Burbidge (1985) *apud* Schnaid (2012), para os valores de N_{SPT} precisam ser corrigidos em duas situações. Utiliza-se, assim, a Equação 25 para siltes arenosos com N_{SPT} maior que 15 golpes, e a Equação 26 para seixos ou seixos mais areia.

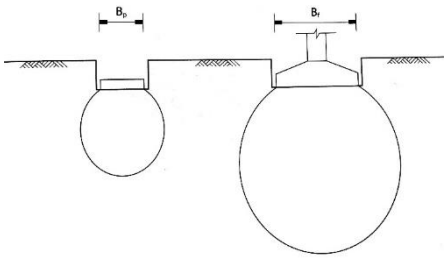
$$N_{corr} = 15 + 0,5.(N_{SPT} - 15) \tag{22}$$

$$N_{corr} = 1,25.N_{SPT} \tag{23}$$

2.9.5 Prova de Carga em Placa

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2003), além da forma analítica ou teórica para previsão de recalques imediatos de sapatas, também é possível o método experimental, realizado através de ensaios de provas de carga sobre placas. Como o bulbo de tensões atingido pela placa é consideravelmente menos profundo que o bulbo de tensões das sapatas, conforme ilustrado na Figura 10, é aconselhável a aplicação desse ensaio para solos razoavelmente homogêneos em profundidade.

Figura 10 - Relação modelo x protótipo



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2014)

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2014), em função da diferença de dimensões entre sapatas (protótipo) e as placas utilizadas para realização dos ensaios (modelo reduzido), é necessário quantificar o efeito do aumento de dimensão (lado ou diâmetro) nos recalques medidos (equação 23). Para a análise da relação modelo x protótipo, consideremos uma placa e uma sapata, ambas circulares e apoiadas à uma mesma superfície do maciço do solo, com diâmetros B_p e B_f, de modo que:

$$\frac{B_f}{B_p} = n \text{ (com } n > 1) \tag{24}$$

De acordo com Cintra, Aoki e Albiero (2014), tanto sapatas retangulares quanto de formas irregulares podem ser substituídas por uma sapata circular fictícia, com área equivalente a real. A relação modelo x protótipo implica uma mesma proporção tanto entre os bulbos de tensões quanto entres os bulbos de recalque. Para as argilas sobre adensadas, há a equação da Teoria da Elasticidade Linear para o cálculo do recalque imediato. Aplicando-a para uma placa e uma sapata, ambas com a mesma rigidez e forma geométrica, encontra-se, respectivamente, as Equações 25 e 26 para o recalque imediato da placa ρ_p e da sapata ρ_f:

$$\rho_p = \sigma B_p \left[\frac{1 - v^2}{E_s}\right] I_\rho \tag{25}$$

$$\rho_f = \sigma B_s \left[\frac{1 - v^2}{E_s}\right] I_\rho \tag{26}$$

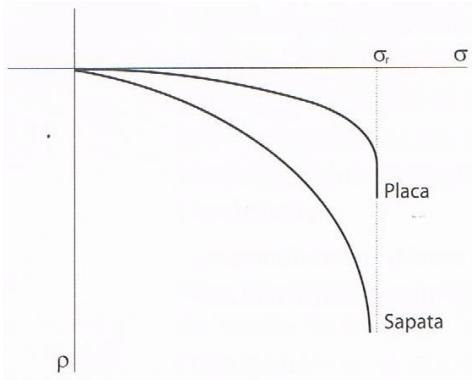
Onde o modulo de deformabilidade (E_s), o coeficiente de Poisson (v) e o fator de influência (I) não variam. Sendo assim, para um mesmo nível de tensão, tem-se a Equação 26:

$$\frac{\rho_f}{\rho_p} = \frac{B_f}{B_p} \rightarrow \rho_f = n.\rho_p \tag{27}$$

Ou seja, o recalque aumenta na mesma proporção das dimensões. Sendo assim, em uma sapata três vezes maior que uma placa, por exemplo, os recalques serão, por sua vez, três vezes maiores que os da placa, para uma mesma tensão aplicada. O mesmo raciocínio não ocorre em termos de capacidade de carga, ou seja; a capacidade de carga independe da dimensão da fundação, e assim, o seu valor continua o mesmo nos sistemas placa-solo e sapata-solo, independentemente do tamanho da sapata. Ao reunir essas duas informações sobre recalque e capacidade de carga,

ilustra-se qualitativamente, na Figura 11, a comparação das curvas de tensão x recalque de ensaios de placa e em sapatas. (CINTRA, AOKI E ALBIERO, 2014)

Figura 11 – Comparação das curvas tensão-recalque



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2014)

Nessa figura, se adimensionalizarmos os recalques (ρ/B, em vez de ρ), obtém-se uma curva de tensão-recalque única, adimensional, caracterizando que não há efeito de escala no meio elástico homogêneo, apenas efeito de dimensão. (CINTRA, AOKI E ALBIERO, 2014)

3 METODOLOGIA

Neste capitulo, apresenta-se a metodologia da pesquisa onde descreve-se a estratégia e o delineamento desta, os ensaios de campo utilizados, os ensaios de laboratório de caracterização geotécnica e finalmente os métodos experimentais utilizados para estimação das tensões admissíveis e recalques apresentados pelos solos estudados.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

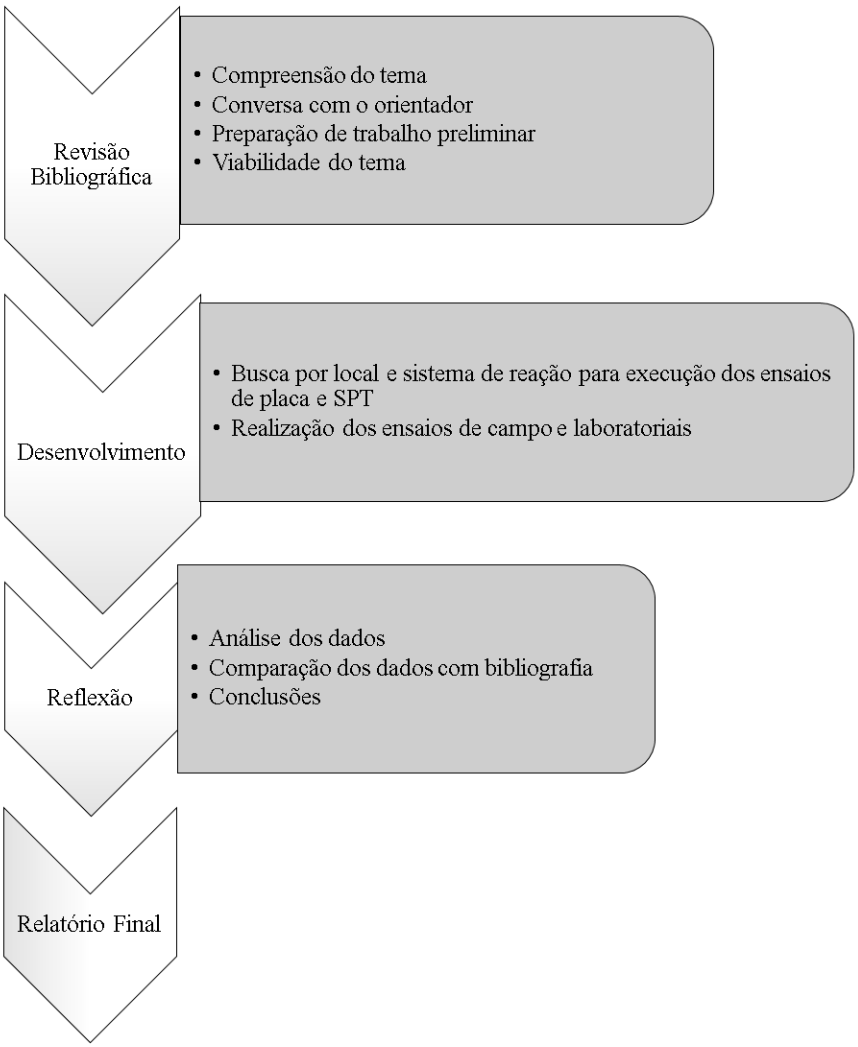
Esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, do ponto de vista da sua natureza, pois objetiva gerar conhecimentos de aplicação prática para a solução de um problema específico. Quanto a forma de abordagem do problema, pode ser classificada como quantitativa e do ponto de vista dos seus objetivos pode ser classificada como explicativa. Já do ponto de vista dos procedimentos técnicos classifica-se como bibliográfica e experimental.

A estratégia de pesquisa deste trabalho de conclusão de curso contempla ensaios de carregamento de carga em placa, ensaios SPT, ensaios de caracterização geotécnica, e metodologias de cálculos de tensão admissível e recalque, descritos e comentados separadamente nos itens 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4 a seguir.

3.2 DELINEAMENTO

O delineamento da pesquisa foi dividido em três etapas principais, e encontra-se ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Autoria Própria

Após a conclusão da fundamentação teórica, de vital importância para o processo de compreensão do tema, partiu-se para a etapa de desenvolvimento da pesquisa, que se constituiu de escolher locais para a realização dos ensaios de placa e efetivar sua realização. Na sequência analisou-se as curvas carga-recalque obtidas dos ensaios de placa, que permitiu determinar os valores de tensão admissível e de ruptura por diversos métodos e comparar a estimativa dos recalques a partir dos critérios descritos na revisão bibliográfica com o comportamento efetivo de campo.

3.3 ENSAIOS DE PLACA

Realizaram-se 5 ensaios de placa em três municípios da região noroeste do Rio Grande do Sul: com a placa de 48 cm de diâmetro em Coronel Barros, e com as placas de 48 cm e 80 cm de diâmetro em Santa Rosa e Ijuí.

Os ensaios foram realizados na cota de superfície do local, já que haviam sido realizadas a limpeza da vegetação e a terraplenagem da área. Definiu-se esta cota, pois desta forma o solo se apresentava adequado a receber uma fundação superficial hipotética.

3.3.1 Equipamentos necessários

Foi utilizado um conjunto de placas circulares de aço, uma de 48 cm de diâmetro e a outra de 80 cm (Figura 13). A aplicação de carga é realizada por um macaco hidráulico (Figura 14) com capacidade para 25 Toneladas (da marca Enerpac), cujo acionamento é feito por uma bomba hidráulica acoplada ao macaco com capacidade máxima de 700 bar. Também foram utilizados três relógios deflectômetros, que medem as deformações ocorridas nas placas com a aplicação de carga, com leituras de 0,01 mm e cursor máximo de 30 mm, apoiados nas placas a 120º e fixados em uma régua retangular de referência.

Figura 13 - Equipamentos utilizados no ensaio

Fonte: Moreira (2014)

Figura 14 - Macaco Hidráulico

Fonte: Autoria Própria

Utiliza-se a régua de alumínio, com 3 metros de comprimento e bi apoiada cujo objetivo é isolar o sistema de leituras de qualquer deformação originada no solo pelo sistema de reação ou da deformação ocorrida no solo circunvizinho à placa, conforme orientado na NBR 6489/84.

Para o sistema de reação, foram utilizadas escavadeiras hidráulicas, como da apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Equipamento montado com o sistema de reação

Fonte: Autoria Própria

3.3.2 Execução dos Ensaios de Placa

Os ensaios foram executados conforme as recomendações da NBR 6489/1984 intitulada "*Prova de carga direta sobre terreno de fundação"*, que "fixa as condições gerais a satisfazer nas provas de carga sobre terreno, para fins de fundação por sapatas rasas, assim como as informações que devem constar do registro da mesma". (ABNT, 1984)

Segundo a NBR 6489/84, após cada aumento de carga aplicada, os recalques são lidos imediatamente em intervalos sucessivos e dobrados (1, 2, 4, 8, 15, minutos, e etc.) até que as leituras estejam estabilizadas, tendo uma tolerância máxima de 5% de diferença do recalque total entre leituras. O ensaio deverá ser executado até, pelo menos, observar-se um recalque de 25 mm ou até atingir-se o dobro da taxa admitida pelo solo. Para a descarga serão utilizados os mesmos critérios de leitura e de estabilização considerados para o carregamento. (ABNT, 1984)

3.4 ENSAIOS SPT

Para cada local de estudo foram executados ensaios SPT, descrito na revisão bibliográfica no item 2.3.1, a fim de determinar os valores de N_{SPT} das camadas do maciço de solo onde os ensaios de placas foram executados.

Este ensaio é regido pela NBR 6484/2011 intitulado *"Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio"*, a qual "prescreve o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos, com SPT, cujas finalidades, para aplicações em Engenharia Civil, são: a) a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência; b) a posição do nível-d 'água; e c) os índices de resistência à penetração (N) a cada metro". (ABNT, 2011)

Os valores N_{SPT} característicos estipulados serão aplicados nas fórmulas semiempíricas dos métodos de estimativa de tensão admissível e recalque, sendo comparados e analisados com os valores obtidos pelos ensaios de placa.

3.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

3.5.1 Análise Granulométrica

Os ensaios de granulometria serão realizados de acordo com a NBR 7181 (1988) – "*Solo - Análise granulométrica*", que prescreve o método para a análise granulométrica dos solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. (ABNT, 1984)

3.5.2 Limites de Consistência

Os ensaios de limites de consistência serão realizados de acordo com a NBR 6459/1984 – *"Determinação do limite de liquidez"* e a NBR 7180/1988 – *"Determinação do limite de plasticidade"*.

3.5.3 Compactação e Índice de Suporte dos Solos

Mesmo sendo mais utilizados para uso em pavimentação, será utilizado ensaios de compactação e índice de suporte Califórnia para a obtenção e analise dos resultados. Realizados conforme a NBR 7182/1988 – *"Ensaio normal de compactação de solos"* e a NBR 9895/1987 – *"Solo - Índice de suporte Califórnia - Método de ensaio"*.

3.6 METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Para obtenção dos valores estimados da capacidade de carga, tensão admissível e recalques, serão utilizadas as metodologias de cálculo descritas nos itens 2.6 e 2.9 da revisão bibliográfica. Tais metodologias foram escolhidas por terem sido estudadas durante a graduação, na matéria de fundações.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se as análises dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização geotécnica realizados no Laboratório da Engenharia Civil (LEC) da UNIJUI, a partir dos quais efetua-se a classificação dos solos estudados pelos métodos tradicionais mais consagrados (SUCS e AASHTO), descritos no item 2.1 da revisão bibliográfica.

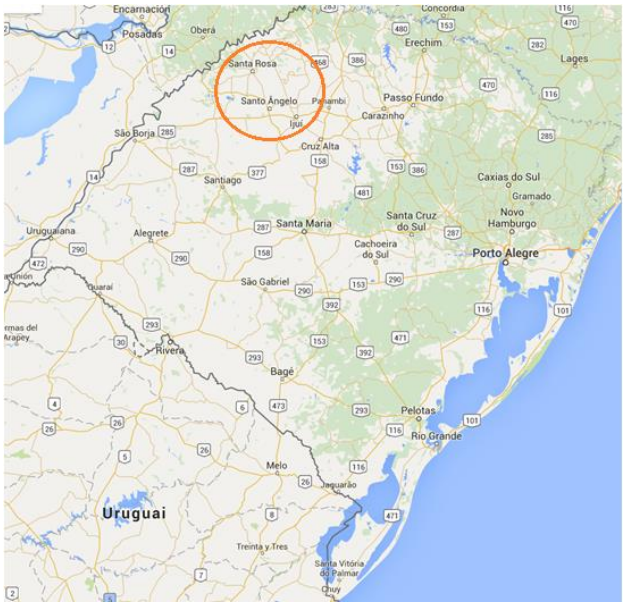
Subsequentemente exibe-se as análises dos resultados dos ensaios de carregamento sobre placa, e os dos ensaios de penetração padrão SPT realizados nos locais indicados no item 4.1 deste capítulo. E em seguida, apresenta-se as estimativas de tensões admissíveis e de recalques obtidas para os locais estudados, através das metodologias de cálculo descritas nos itens 2.6 e 2.10 da revisão bibliográfica.

4.1 LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS

Informa-se neste item, a localização das áreas de estudo nas cidades de Coronel Barros, Ijuí e Santa Rosa, onde realizaram-se os ensaios de placa, ensaios de sondagem SPT e retirada de amostra de solo utilizada para os ensaios de caracterização geotécnica

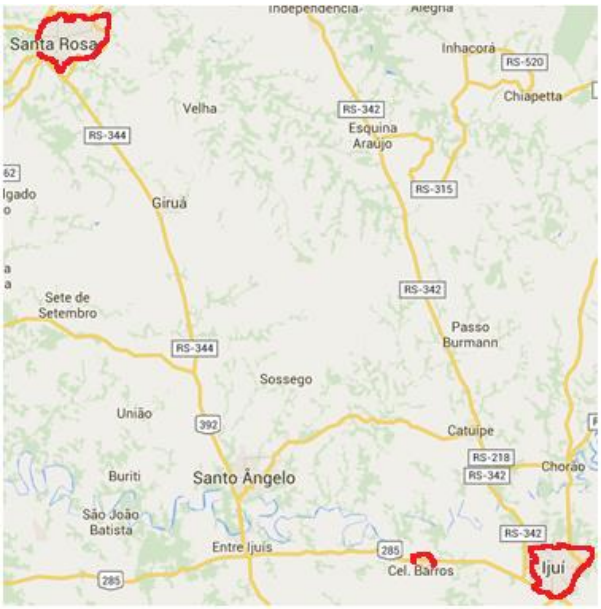
Os municípios estudados encontram-se representados nas figuras 16 e 17 abaixo.

Figura 16 - Mapa do Rio Grande do Sul com detalhe para a região Noroeste



Fonte: Adaptado de Google Maps

Figura 17 - Detalhe dos municípios estudados



Fonte: Adaptado de Google Maps

4.1.1 Coronel Barros

Realizado no dia 21 de março de 2015, próximo a BR 285 Km 477, na área onde constrói-se uma unidade de distribuição de combustíveis da empresa Distribuidora de Combustíveis Charrua Ltda., na área rural do município de Coronel Barros, conforme indicado nas Figuras 18 e 19 abaixo.

Figura 18 - Localização do local de ensaio de placas em Coronel Barros

Fonte: Adaptado de Google Maps, 2015

Figura 19 – detalhe do local do ensaio de placa: Coronel Barros

Fonte: Autoria Própria

4.1.2 Ijuí

Realizado no dia 24 de outubro de 2015, no campus de Ijuí da UNIJUI, mais precisamente, atrás do novo prédio do hospital veterinário, próximo ao barranco localizado no canto do terreno, conforme indicado na Figura 20. Importante salientar que o solo deste local vem sendo utilizado em pesquisas na área de pavimentação no projeto institucional “Estudo de Solo Argiloso Laterítico para Uso em Pavimentos Econômicos” vinculado ao Grupo de Pesquisas em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção Civil cadastrado no Diretório Geral de Grupos de Pesquisa do CNPQ. Portanto a caracterização geotécnica deste solo já está bem estudada e analisada, facilitando a realização deste trabalho, pois não houve a necessidade da realização destes ensaios.

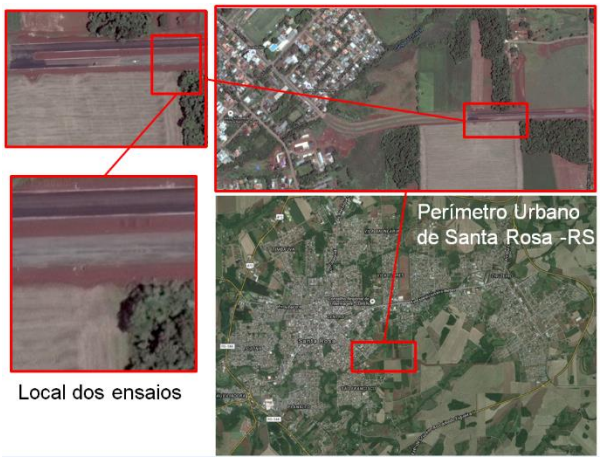
Figura 20 – Local do ensaio de placas: Ijuí

Fonte: Adaptado de Google Maps, 2015

4.1.3 Santa Rosa

Realizado no dia 11 de abril de 2015, no prolongamento da Avenida América na cidade de Santa Rosa, que se localiza na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul próxima à fronteira com a Argentina, conforme indicado na Figura 21.

Figura 21 - Local de ensaio de placa: Santa Rosa



Fonte: Riske (2015)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Com o intuito de conhecer as propriedades e classificar os solos estudados tão aprimorado quanto possível, realizaram-se ensaios de caracterização geotécnica, descritos no item 3.5 da metodologia, cujos resultados e análises dos mesmos são apresentados nos itens a seguir.

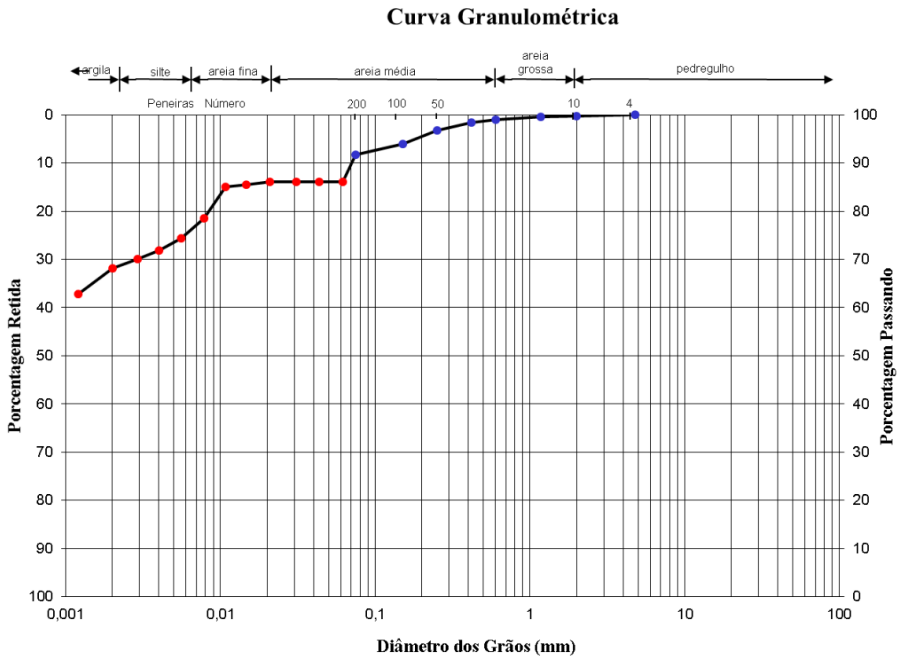
4.2.1 Solo de Coronel Barros

Através dos ensaios de limites de consistência, o solo estudado em Coronel Barros apresentou um limite de liquidez de 56%, limite de plasticidade de 33%, gerando, da subtração destes dois valores, um índice de plasticidade de 23%.

No ensaio de análise granulométrica, 68,34 % da amostra coletada do solo estudado apresentou um tamanho de grão equivalente ao de argila; 17,97 % de silte, 10,67 % de areia fina, 2,23 % de areia média, 0,77 % de areia grossa e 0,23 % de pedregulho, e porcentagem passante de 91,79% na peneira nº 200. A curva granulométrica gerada para o solo encontra-se ilustrada na

Figura 22. Percebe-se que o solo é extremamente fino. No ensaio de massa especifica real o valor obtido foi de 2,814 g/cm³.

Figura 22 – Curva granulométrica Coronel Barros

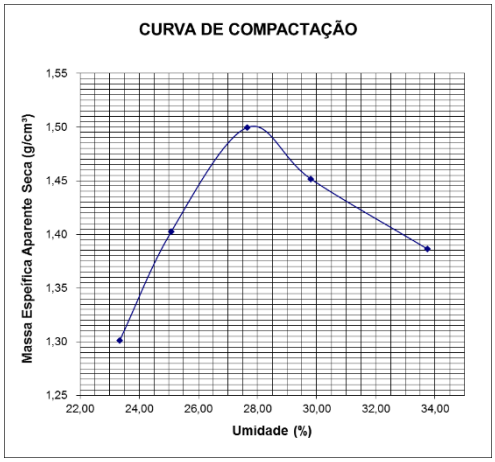


Fonte: Arquivo do Professor Orientador

A partir desses dados classificou-se o solo através dos métodos SUCS e HRB/AASHTO, descritos no item 2.1 da revisão bibliográfica. Pelo método SUCS, classificou-se o solo como MH, e na classificação rodoviária como A-7-5, índice de grupo de 16, considerando o solo de comportamento sofrível a mau para uso em subleitos de rodovias.

Através do ensaio de compactação, utilizando-se da energia normal, obteve-se a curva de compactação do solo, representada na Figura 23. Desta, analisa-se que a massa especifica aparente seca máxima obtida é de 1,501 g/cm³ e a umidade ótima de 27,9%.

Figura 23 - Curva de Compactação Coronel Barros



Fonte: Autoria Própria

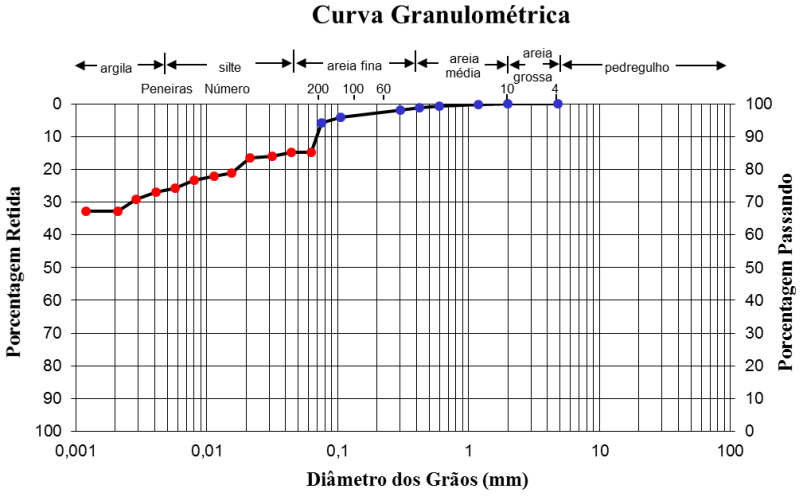
Através do ensaio de índice de suporte Califórnia, obteve-se um ISC de 9,37% para um teor de umidade de 24,65%, encontrando-se abaixo da umidade ótima, e uma expansão de 0,69 %.

4.2.2 Solo de Ijuí

Segundo Bernardi (2013), através dos ensaios de limites de consistência, o solo estudado em Ijuí apresentou um limite de liquidez de 65%, limite de plasticidade de 39%, gerando, da subtração destes dois valores, um índice de plasticidade de 29%.

Através do ensaio de análise granulométrica, obteve-se da amostra coletada do solo estudado 74,32% apresentando tamanho de grão equivalente ao de argila; 10,92% de silte, 13,54% de areia fina, 1,21% de areia média e 0,01% de areia grossa. A porcentagem passante na peneira nº 200 foi de 94,09%. A curva granulométrica encontrada para o solo encontra-se ilustrada na Figura 24. Ainda se obteve um valor de massa especifica real de 2,885 g/cm³ (BERNARDI, 2013).

Figura 24 - Curva granulométrica Ijuí

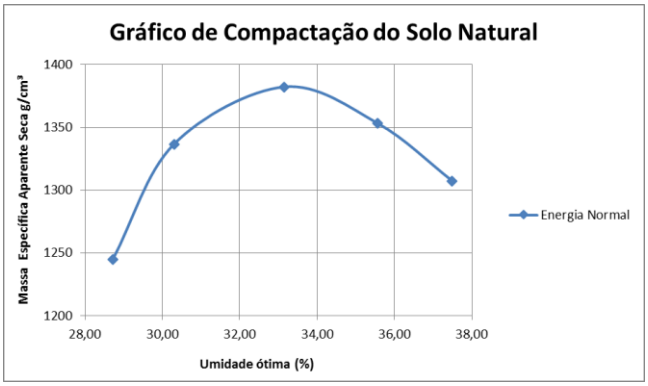


Fonte: Bernardi (2013)

A partir desses dados, Bernardi (2013) classificou o solo através dos métodos SUCS e HRB/AASHTO, descritos no item 2.1 da revisão bibliográfica. O solo foi classificado pelo método SUCS como MH, e na classificação rodoviária como A-7-5 com índice de grupo de 19.

Através do ensaio de compactação, utilizando-se da energia normal, obteve-se a curva de compactação do solo, representada na Figura 25. Desta, percebe-se que a massa especifica aparente seca máxima obtida é 1,382 g/cm³, e a umidade ótima de 33,15%.

Figura 25 - Curva de compactação Ijuí



Fonte: Adaptado de Bernardi (2013)

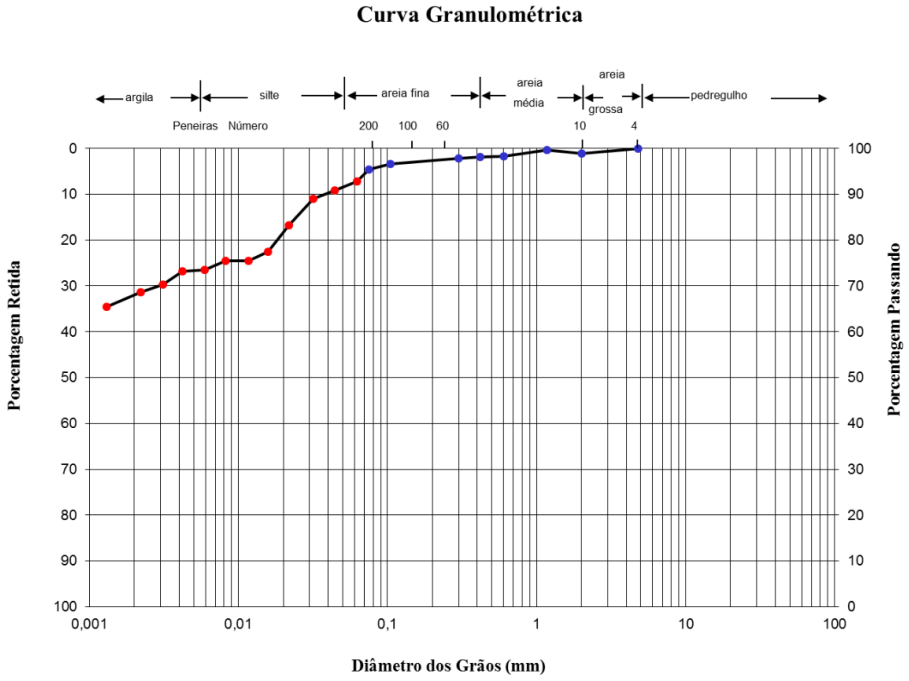
Através do ensaio de índice de suporte Califórnia, obteve-se um ISC de 10% para um teor de umidade médio em torno de 32,27%.

4.2.3 Solo de Santa Rosa

Através dos ensaios de limites de consistência, o solo estudado em Santa Rosa apresentou um limite de liquidez de 51%, limite de plasticidade de 45%, gerando, da subtração destes dois valores, um índice de plasticidade de 6%.

Através do ensaio de análise granulometria, o valor de 73,19% da amostra coletada do solo estudado apresentou um tamanho de grão equivalente ao de argila; 19,61% de silte e 5,39% de areia fina, 0,66% de areia média, 1,11% de areia grossa e 0,04% de pedregulho. A porcentagem passante na peneira nº 200 foi de 95,38 %. A curva granulométrica encontrada para o solo encontra-se ilustrada na Figura 26. Para a massa especifica real obteve-se 2,550 g/cm³.

Figura 26 - Curva granulométrica Santa Rosa



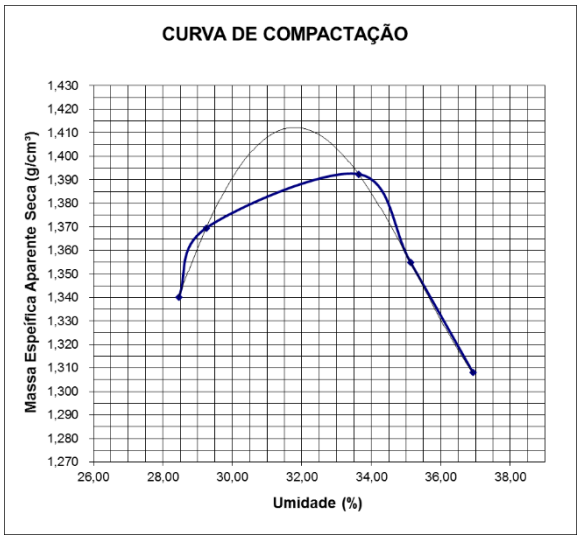
Fonte: Riske (2015)

A partir desses dados classificou-se o solo através dos métodos SUCS e HRB/AASHTO, descritos no item 2.1 da revisão bibliográfica. No método SUCS, classificou-se o solo como MH, e na classificação rodoviária como A-5 índice de grupo igual a 10.

Através do ensaio de compactação, utilizando-se da energia normal, obteve-se a curva de compactação do solo, representada na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**. Desta,

pode-se inferir que a massa especifica aparente seca máxima obtida é 1,412 g/cm³ e a umidade ótima de 31,85%.

Figura 27 - Curva de Compactação Santa Rosa



Fonte: Riske 2015

Através do ensaio de índice de suporte Califórnia, obteve-se um ISC de 5,44% para um teor de umidade médio em torno de 34,04% (2% acima da umidade ótima). Segundo Riske (2015), infere-se que para umidade ótima de 31,85%.

4.3 ENSAIOS DE CARREGAMENTO EM PLACA

Neste item, apresentam-se os gráficos das curvas tensão – recalque obtidos através dos ensaios de carregamento em placa, descrito no item 3.3 da metodologia, para cada local de estudo.

4.3.1 Coronel Barros

O ensaio de placa em Coronel Barros foi realizado no dia 21 de março de 2015, sem apresentar precipitações de chuva no dia ou nos dias anteriores a este. Infelizmente, devido à problemas logísticos não foi possível realizar-se o ensaio com a placa de 80 cm no local. Para este ensaio, como sistema de reação, utilizou-se uma escavadeira hidráulica de 21 toneladas, cedida pela empresa Camillo Construções e Terraplanagens Ltda.

A Tabela 5 apresenta as leituras obtidas durante o ensaio com a placa de 48 cm em Coronel Barros, na qual encontra-se a tensão na placa em kPa para cada fase de aplicação de carga na placa, os valores de recalque compensados, valor médio de recalque, e o recalque adimensionalizado.

As leituras compensadas são obtidas através da subtração da leitura inicial do ensaio (primeira leitura realizada) do valor da leitura de cada incremento de carga. Este processo, embora não seja encontrado na literatura, é recomendado pelo Prof. Dr. César Ruver, como uma maneira de compensar a acomodação da placa no solo durante o início do ensaio.

A tabela completa das leituras realizadas durante este ensaio é apresentada no Apêndice A.

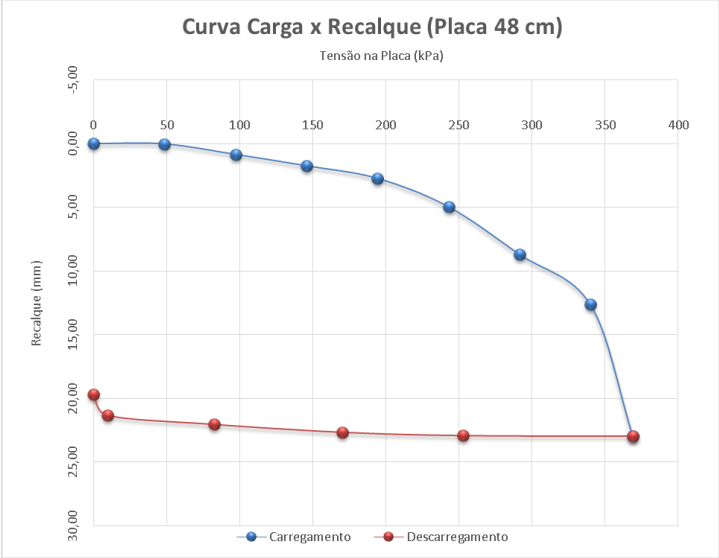
Tabela 5 – Leituras do Ensaio de Placa em Coronel Barros - placa 48 cm

Tensão na Placa (kPa)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	r(médio) (mm)	r/d (mm)
	(medida em campo - atual)				
0	0	0	0	0,00	0,00000
49	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00006
97	0,49	1,58	0,49	0,85	0,00178
146	1,31	2,6	1,33	1,75	0,00364
194	2,54	3,05	2,61	2,73	0,00569
243	4,63	5,43	4,82	4,96	0,01033
292	8,12	9,35	8,64	8,70	0,01813
340	11,99	13,42	12,51	12,64	0,02633
369	22,13	24,15	22,66	22,98	0,04788
253	22,09	24,13	22,57	22,93	0,04777
170	21,83	23,8	22,38	22,67	0,04723
83	21,22	23,11	21,8	22,04	0,04592
10	20,53	22,37	21,06	21,32	0,04442
0	18,95	20,86	19,18	19,66	0,04097

Fonte: Autoria Própria

A Figura 28 apresenta a curva carga – recalque para a placa de 48 cm, obtida através dos resultados apresentados na Tabela 5.

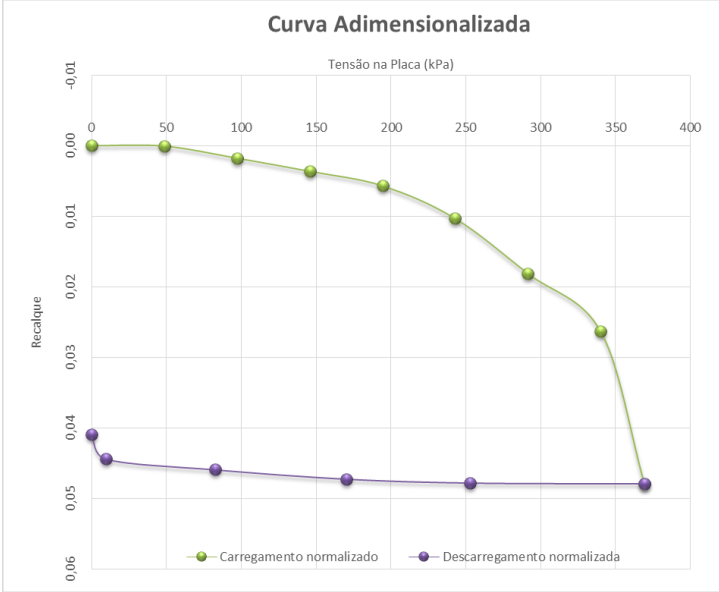
Figura 28- Curva carga-recalque do Ensaio de Placa em Coronel Barros – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

O recalque adimensionalizado, detalhado no item 2.9.5 da revisão bibliográfica, é obtido através da divisão da leitura do recalque em milímetros, pelo diâmetro da placa, também em milímetros. Assim, encontra-se uma curva carga-recalque, representada na Figura 29, com recalque adimensional, podendo esta ser utilizada para estimar o comportamento do recalque para o solo de estudo para qualquer valor de escala desejado.

Figura 29 - Curva de Recalque Adimensionalizado do Ensaio de Placa em Cel. Barros



Fonte: Autoria Própria

4.3.1.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga

Através da metodologia descrita no item 2.6.6 da revisão bibliográfica, adotou-se como base para a estimativa da capacidade de carga o critério de Alonso (2012) através das análises da curva-recalque obtida no ensaio de carregamento em placa, onde:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{\sigma_R}{2} \\ \sigma_{10} \\ \frac{\sigma_{25}}{2} \end{cases}$$

Ao aplicar os valores encontrados na curva carga-recalque para a placa de 48 cm da Figura 28, obtém-se a seguinte condição para o solo estudado:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{369}{2} \\ 312{,}7 \end{cases}$$

Como o solo apresentou um ponto médio de ruptura aos 22,98 mm, a condição $\frac{\sigma_{25}}{2}$ não é possível de ser aplicada neste caso, portanto, utiliza-se a condição do valor de carga de ruptura de 369 kPa dividido por 2. Chega-se assim, a um valor de tensão admissível $\sigma_{adm} = 184{,}5\ kPa$ para o solo estudado em Coronel Barros.

Ainda de acordo com o item 2.6.6 da revisão bibliográfica, analisou-se, também, a curva carga-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), onde $480/30 = 16\ mm$. Através da curva carga-recalque da Figura 28, obtém-se o valor de tensão para um recalque de 16 mm de aproximadamente 352 kPa, que, ao ser dividido pelo coeficiente de segurança 2, indicado pela NBR 6122/2010, e descrito no item 2.8 da revisão bibliográfica, chega-se ao valor de $\sigma_{adm} = 176\ kPa$.

Percebe-se que os valores de tensão admissível encontrados através dos critérios de literatura para a análise da curva tensão-recalque da placa de 48 cm em Coronel Barros são relativamente semelhantes, assim, escolheu-se adotar a média destes dois valores como o valor de tensão admissível para o local de estudo, chegando-se ao valor $\sigma_{adm} = 180{,}25\ kPa$.

4.3.1.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque

A análise visual do local após a realização do ensaio com a placa de 48 cm indicou uma ruptura do solo característica por puncionamento, conforme detalhado no item 2.5 da revisão bibliográfica e é ilustrada na Figura 30 abaixo.

Figura 30 – Solo local antes e depois da ruptura

Fonte: Autoria Própria

Este tipo de ruptura também foi observado nos ensaios de placa realizados nas dissertações de mestrado de Russi (2007) e Kublick (2010), nas cidades de Santo Ângelo e Santa Maria.

O solo apresentou leituras do ponto de ruptura em r1, r2 e r3 de, respectivamente, 23,38 mm; 25,55 mm; e 24,31 mm, que, após serem compensadas, apresentam um valor de r médio de 22,98 mm.

Quanto à capacidade elástica do solo, conforme representado na curva carga – recalque da Figura 28, o solo não apresenta uma recuperação significativa após a ruptura com o descarregamento, indicando assim, ser um solo plástico, e não elástico.

4.3.2 Ijuí

Os ensaios de placa em Ijuí foram realizados no dia 24 de outubro de 2015, em uma época com muitas ocorrências de chuva, entretanto, durante, e no dia anterior ao ensaio não houve ocorrência de precipitações. Para este ensaio, como sistema de reação, utilizou-se a mesma escavadeira hidráulica de 21 toneladas utilizada em Coronel Barros, cedida pela empresa Camillo Construções e Terraplanagens Ltda.

A Tabela 6 apresenta as leituras obtidas durante o ensaio com a placa de 48 cm em Ijuí, que segue o mesmo padrão da Tabela 5 apresentada no item 4.2.1 deste capítulo para o solo de Coronel Barros. A tabela completa das leituras realizadas durante este ensaio é apresentada no Apêndice B.

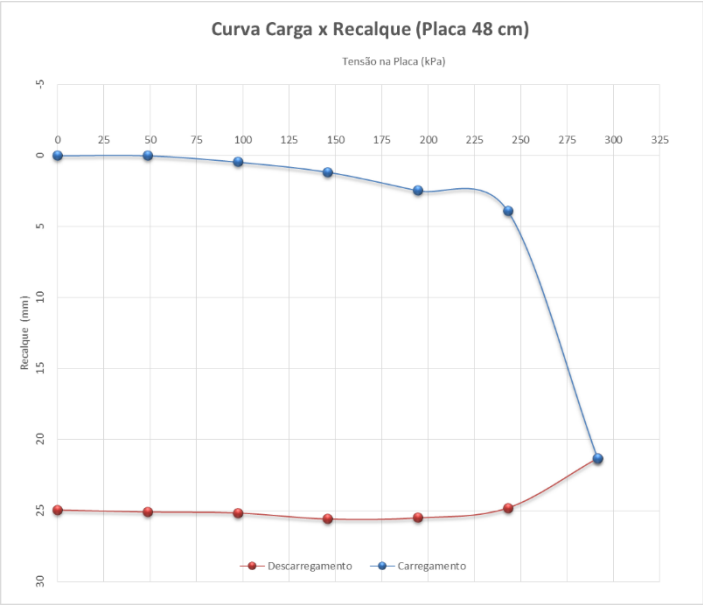
Tabela 6 - Leituras Ijuí - placa 48 cm

Tensão na Placa (kPa)	r1 (mm)	r2 (mm)	r3 (mm)	r(médio)	r/d
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000
97	0,57	0,36	0,42	0,45	0,00094
146	1,45	0,92	1,10	1,16	0,00241
194	2,85	1,60	2,94	2,46	0,00513
243	5,22	2,97	3,44	3,88	0,00807
292	23,95	19,58	20,39	21,31	0,04439
243	27,25	24,53	22,62	24,80	0,05167
194	28,16	25,68	22,65	25,50	0,05312
146	28,23	25,83	22,66	25,57	0,05328
97	26,98	25,83	22,63	25,15	0,05239
49	26,84	25,78	22,61	25,08	0,05224
0	26,69	25,57	22,57	24,94	0,05197

Fonte: Autoria Própria

A Figura 31 apresenta a curva carga – recalque para a placa de 48 cm, obtida através dos resultados apresentados na Tabela 6.

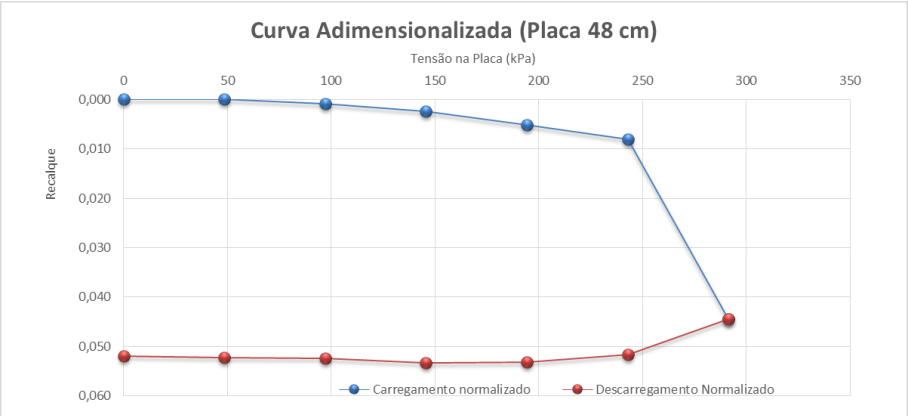
Figura 31 - Curva carga-recalque Ijuí – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

A Figura 32 apresenta a curva carga – recalque adimensional obtida para placa de 48 cm.

Figura 32 - Curva adimensionalizada Ijuí – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 7 apresenta as leituras obtidas durante o ensaio com a placa de 80 cm em Ijuí.

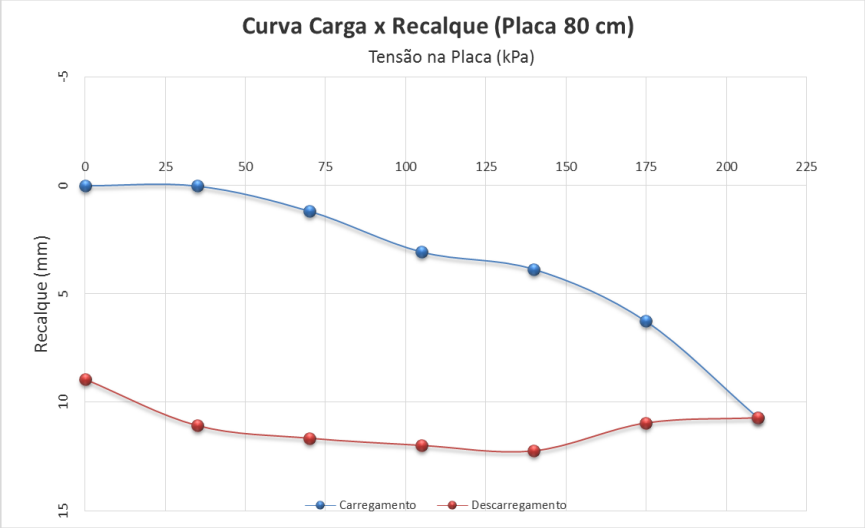
Tabela 7 – Leituras Ijuí – placa 80 cm

Tensão na Placa (kPa)	r1 (mm)	r2 (mm)	r3 (mm)	r(médio)	r/d
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
35	0,02	0,02	0,01	0,02	0,0000
70	1,28	1,06	1,18	1,17	0,0015
105	2,70	3,14	3,33	3,06	0,0038
140	4,31	3,35	3,90	3,85	0,0048
175	6,79	5,36	6,60	6,25	0,0078
210	11,64	7,80	12,68	10,71	0,0134
175	13,18	7,89	11,77	10,95	0,0137
140	13,43	8,62	14,65	12,23	0,0153
105	13,20	8,47	14,27	11,98	0,0150
70	12,85	8,25	13,85	11,65	0,0146
35	12,22	7,77	13,21	11,07	0,0138
0	10,07	5,59	11,14	8,93	0,0112

Fonte: Autoria Própria

A Figura 33 apresenta a curva carga – recalque para a placa de 80 cm, obtida através dos resultados apresentados na Tabela 7. A tabela completa das leituras realizadas durante este ensaio é apresentada no Apêndice C.

Figura 33 - Curva Carga – recalque do Ensaio de Placa em Ijuí – placa 80 cm

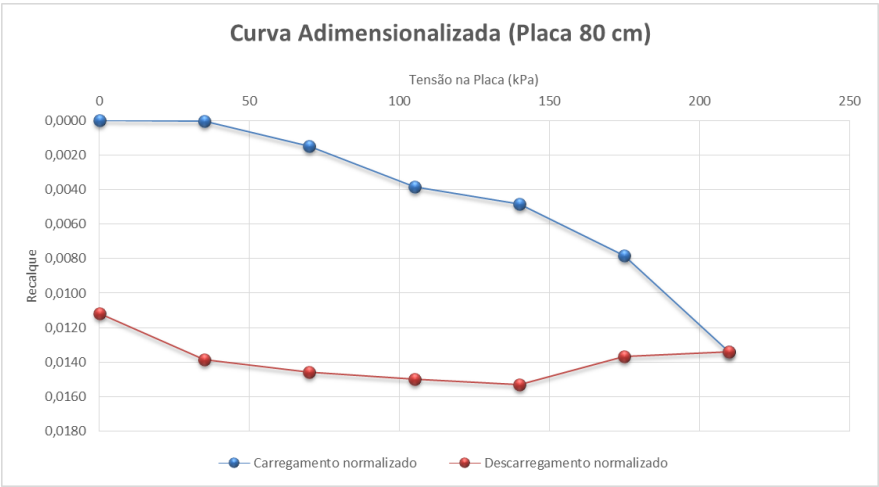


Fonte: Autoria Própria

O sistema de reação utilizado, apesar de possuir um alto peso estacionário, não foi suficiente para levar o solo à ruptura durante a realização do ensaio com a placa de 80 cm. Para esses casos, a NBR 6489/1984 estipula que a carga máxima alcançada deve ser mantida por um período mínimo de 12 horas antes de realizar-se o descarregamento. Entretanto, não foi possível manter os equipamentos por este período de tempo no local, assim, realizou-se o descarregamento da placa pouco tempo após atingir-se a carga máxima aplicada.

A Figura 34 apresenta a curva carga – recalque adimensional obtida para placa de 80 cm.

Figura 34 - Curva Adimensionalizada do Ensaio de placa em Ijuí - placa 80 cm

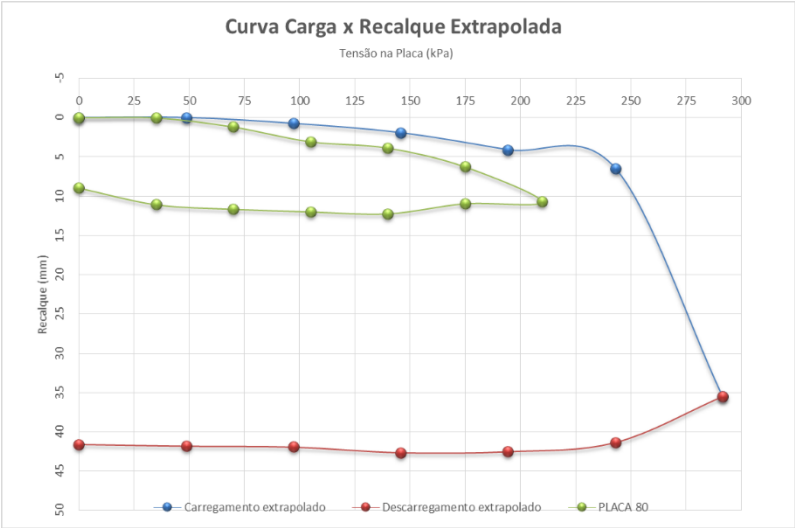


Fonte: Autoria Própria

A Figura 35 apresenta a curva carga – recalque extrapolada obtida para placa de 80 cm, comparada com a curva carga – recalque obtida pelas leituras do ensaio de carregamento com a placa de 48 cm.

Para o extrapolamento da curva, multiplicou-se por 800 o valor em milímetro das leituras adimensionalizadas obtidas para a placa de 48 cm, chegando-se, assim, em um provável ponto de ruptura para a placa de 80 cm. Comparou-se a curva extrapolada com a curva obtida com o ensaio da placa de 80 cm para assegurar-se de que essas não apresentam um comportamento muito distinto entre si.

Figura 35 - Curva extrapolada do Ensaio de Placa em Ijuí



Fonte: Autoria Própria

4.3.2.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga

Através da metodologia descrita no item 2.6.6 da revisão bibliográfica, adotou-se como base para a estimativa da capacidade de carga o critério de Alonso (2012) através das análises da curva-recalque obtida no ensaio de carregamento em placa, onde:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \dfrac{\sigma_R}{2} \\ \sigma_{10} \\ \dfrac{\sigma_{25}}{2} \end{cases}$$

Ao aplicar-se os valores encontrados na curva carga-recalque apresentada na Curva carga – recalque para a placa de 48 cm da Figura 31, obtém-se a seguinte condição para o solo estudado:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{292}{2} \\ 263 \end{cases}$$

Como o solo apresentou um ponto médio de ruptura aos 21,31 mm, a condição $\frac{\sigma_{25}}{2}$ não é possível de ser aplicada neste solo, portanto, utiliza-se, neste caso, a condição do valor de carga de ruptura de 292 kPa dividido por 2. Chega-se assim, em um valor de tensão admissível $\sigma_{adm} = 146\ kPa$ para o solo estudado em Ijuí.

Ainda de acordo com o item 2.6.6 da revisão bibliográfica, analisou-se, também, a curva carga-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), onde $480/30 = 16\ mm$. Através da curva carga-recalque da Figura 28, obtém-se o valor de tensão para um recalque de 16 mm de aproximadamente 278 kPa, que, ao ser dividido pelo coeficiente de segurança 2, indicado pela NBR 6122/2010, e descrito no item 2.8 da revisão bibliográfica, chega-se ao valor de $\sigma_{adm} = 139\ kPa$.

Percebe-se que os valores de tensão admissível encontrados através dos critérios de literatura para a análise da curva tensão-recalque da placa de 48 cm em Ijuí são bastante semelhantes, assim, escolheu-se adotar a média destes dois valores como o valor de tensão admissível para o local de estudo, chegando-se ao valor $\sigma_{adm} = 142{,}5\ KPa$.

Para a placa de 80 cm, ao aplicar-se os valores encontrados na curva carga-recalque extrapolada apresentada na Figura 35Figura **43**, obtém-se a seguinte condição para o solo estudado:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \sigma_{10} \\ \frac{\sigma_{25}}{2} \\ \frac{\sigma_R}{2} \end{cases} \qquad \sigma_{adm} \leq \begin{cases} 251{,}5 \\ \frac{275{,}5}{2} \\ \frac{292}{2} \end{cases}$$

Chega-se assim, em um valor de tensão admissível $\sigma_{adm} = 137{,}75\ kPa$ para o solo estudado em Ijuí, através do ensaio com a placa de 80 cm.

Ainda de acordo com o item 2.6.6 da revisão bibliográfica, analisou-se, também, a curva carga-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), onde $800/30 \cong 27\ mm$. Através da curva carga-recalque da Figura 43, obtém-se o valor de tensão para um recalque de 27 mm de aproximadamente 278,5 kPa, que, ao ser dividido pelo coeficiente de segurança 2, indicado pela NBR 6122/2010, e descrito no item 2.8 da revisão bibliográfica, chega-se ao valor de $\sigma_{adm} = 139{,}25\ kPa$.

Percebe-se que os valores de tensão admissível encontrados através dos critérios de literatura para a análise da curva tensão-recalque extrapolada pra placa de 80 cm são bastante semelhantes, sendo assim, escolheu-se adotar a média destes dois valores como o valor de tensão admissível, chegando-se ao valor $\sigma_{adm} = 138{,}5\ kPa$.

4.3.2.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque

A análise visual do local após a realização do ensaio com a placa de 48 cm indicou uma ruptura do solo característica por puncionamento, conforme detalhado no item 2.5 da revisão bibliográfica e é ilustrada nas Figuras 36 e 37 abaixo.

Figura 36 - Local do ensaio antes e depois da ruptura do solo

Fonte: Autoria Própria

Figura 37 - Ruptura do solo Ijuí

Fonte: Autoria Própria

O solo apresentou leituras do ponto de ruptura em r1, r2 e r3 de, respectivamente, 25,09 mm; 20,56 mm; e 22,52 mm, que, após serem compensadas, apresentam um valor de r médio de 21,31 mm.

Quanto à capacidade elástica do solo, este pode ser considerado um solo bastante plástico, uma vez que, conforme representado na curva carga – recalque da Figura 31, o solo não apresenta uma recuperação significativa após a ruptura, indicando assim, ser um solo plástico, e não elástico.

Uma vez que durante a realização do ensaio com a placa de 80 cm não se atingiu o ponto de ruptura do solo, não há como fazer-se a análise visual do tipo de recalque apresentado, ainda assim, a Figura 38 apresenta o recalque ocorrido no local do ensaio com a placa de 80 cm.

Figura 38 - Local de Ijuí após ensaio - placa 80 cm

Fonte: Autoria Própria

4.3.3 Santa Rosa

Os ensaios de placa em Santa Rosa foram realizados no dia 11 de abril de 2015, sem apresentar precipitações de chuva no dia ou nos dias anteriores a este.

A Tabela 8 apresenta as leituras obtidas durante o ensaio com a placa de 48 cm em Santa Rosa, que segue o mesmo padrão das tabelas apresentadas para Coronel Barros e Ijuí. A tabela completa das leituras realizadas durante este ensaio é apresentada no Apêndice D.

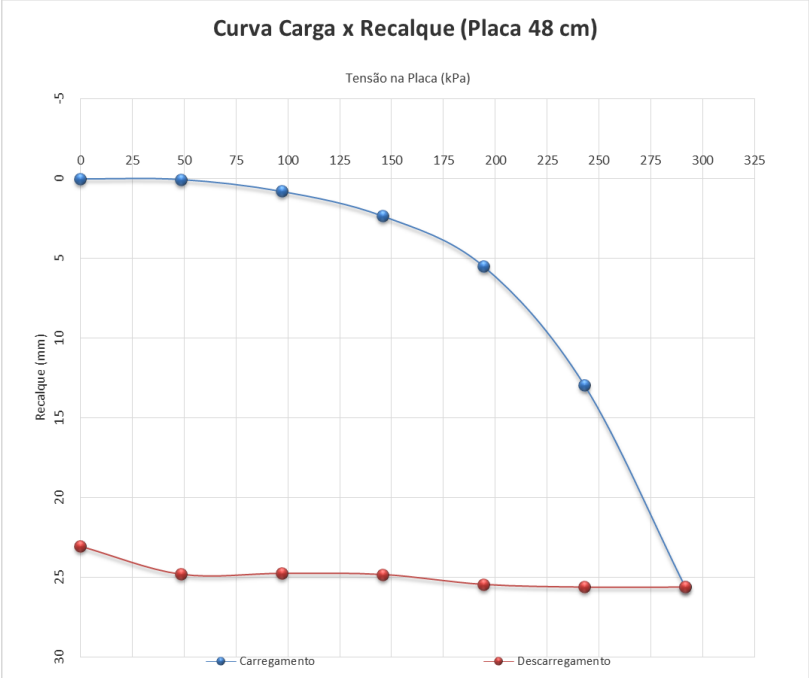
Tabela 8 - Leituras Santa Rosa - placa 48 cm

Tensão na Placa (kpa)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R(médio) (mm)	R/d
	(medida em campo - atual)				
0	0	0	0	0,00	0,00000
49	0,01	0,11	0,01	0,04	0,00009
97	0,66	0,91	0,8	0,79	0,00165
146	2,21	2,43	2,38	2,34	0,00488
194	5,31	5,54	5,62	5,49	0,01144
243	12,76	13,01	13,08	12,95	0,02698
292	25,35	25,73	25,8	25,63	0,05339
243	25,35	25,73	25,8	25,63	0,05339
194	25,21	25,47	25,69	25,46	0,05303
146	24,54	24,94	25,01	24,83	0,05173
97	24,81	25,18	24,3	24,76	0,05159
49	24,52	24,93	25	24,82	0,05170
0	22,79	23,03	23,33	23,05	0,04802

Fonte: Riske (2015)

A Figura 39 apresenta a curva carga – recalque para a placa de 48 cm, obtida através dos resultados apresentados na Tabela 8.

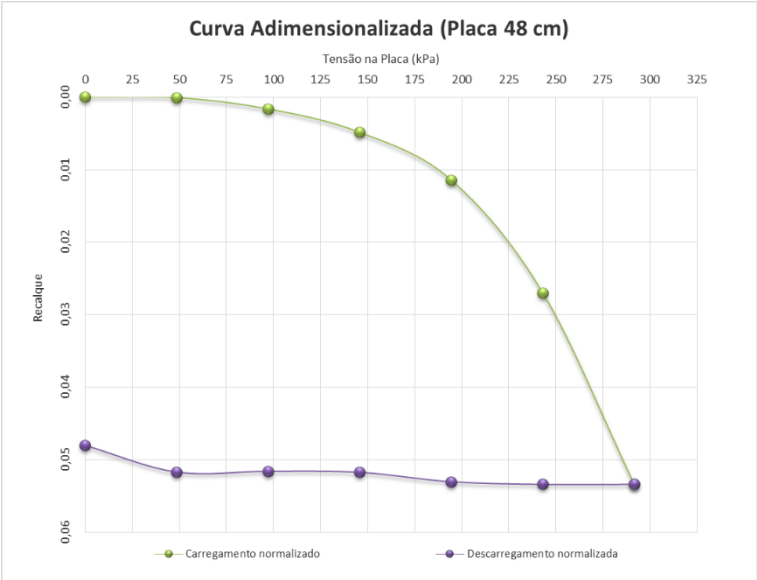
Figura 39 - Curva carga - recalque do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

A Figura 40 apresenta a curva carga – recalque adimensionalizada obtida para placa de 48 cm.

Figura 40 - Curva adimensionalizada do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 48



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 9 apresenta as leituras obtidas durante o ensaio com a placa de 80 cm em Santa Rosa. A tabela completa das leituras realizadas durante este ensaio é apresentada no Apêndice E.

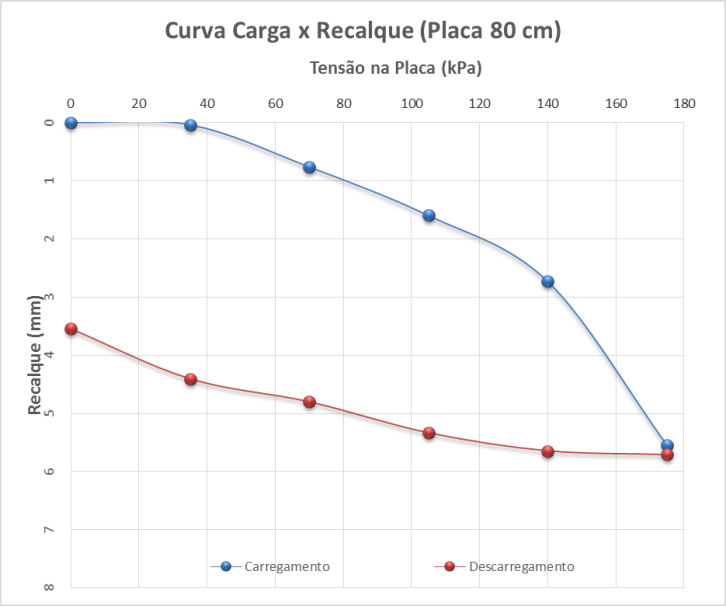
Tabela 9 - Leituras Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm

Tensão na Placa (kpa)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	R(médio) (mm)	R/d (mm)
	(medida em campo - atual)				
0	0	0	0	0,00	0
35	0,02	0,06	0,03	0,04	4,58E-05
70	0,61	0,87	0,8	0,76	0,00095
105	1,41	1,72	1,66	1,60	0,001996
140	2,67	2,97	2,55	2,73	0,003413
175	5,89	5,97	4,76	5,54	0,006925
175	5,89	5,97	5,28	5,71	0,007142
140	5,57	5,97	5,4	5,65	0,007058
105	5,34	5,51	5,16	5,34	0,006671
70	4,56	5,09	4,76	4,80	0,006004
35	4,14	4,69	4,39	4,41	0,005508
0	3,37	3,77	3,5	3,55	0,004433

Fonte: Autoria Própria

A Figura 41 apresenta a curva tensão – recalque para a placa de 80 cm, obtida através dos resultados apresentados na Tabela 9.

Figura 41 - Curva carga - recalque do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm

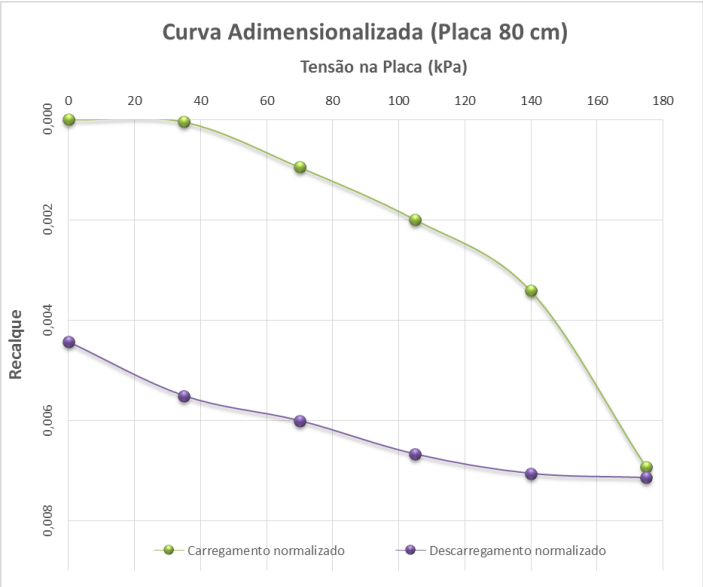


Fonte: Autoria Própria

O sistema de reação utilizado, apesar de possuir um alto peso estacionário, não foi suficiente para levar o solo à ruptura durante a realização do ensaio com a placa de 80 cm. Para esses casos, a NBR 6489/1984 estipula que a carga máxima alcançada deve ser mantida por um período mínimo de 12 horas antes de realizar-se o descarregamento. Entretanto, não foi possível manter os equipamentos por este período de tempo no local, assim, realizou-se o descarregamento da placa pouco tempo após atingir-se a carga máxima aplicada.

A Figura 42 apresenta a curva carga – recalque normalizada obtida para placa de 80 cm.

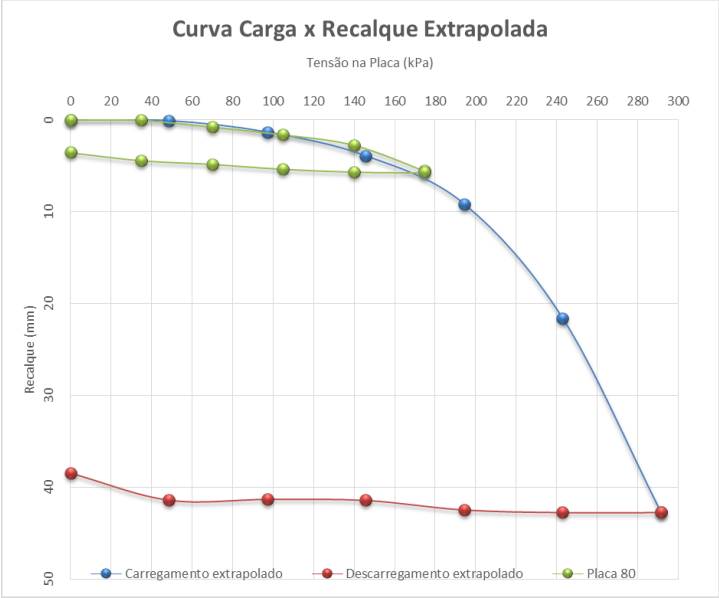
Figura 42 - Curva Adimensionalizada do Ensaio de Placa em Santa Rosa - placa 80 cm



Fonte: Autoria Própria

A Figura 43 apresenta a curva carga – recalque extrapolada obtida para placa de 80 cm, comparada com a curva carga – recalque obtida pelas leituras do ensaio de carregamento com a placa de 48 cm.

Figura 43 – Curva carga – recalque extrapolada– Santa Rosa



Fonte: Autoria Própria

4.3.3.1 Análise do Ensaio de Placa Quanto à Capacidade de Carga

Através da metodologia descrita no item 2.6.6 da revisão bibliográfica, adotou-se como base para a estimativa da capacidade de carga o critério de Alonso (2012) através das análises da curva-recalque obtida no ensaio de carregamento em placa, onde:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \dfrac{\sigma_R}{2} \\ \sigma_{10} \\ \dfrac{\sigma_{25}}{2} \end{cases}$$

Ao aplicar-se os valores encontrados na curva carga-recalque apresentada na Figura 31, obtém-se a seguinte condição para o solo estudado:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{292}{2} \\ 227 \\ \frac{289}{2} \end{cases}$$

Chega-se assim, em um valor de tensão admissível $\sigma_{adm} = 144{,}5\ KPa$ para o solo estudado em Santa Rosa, através do ensaio com a placa de 48 cm.

Ainda de acordo com o item 2.6.6 da revisão bibliográfica, analisou-se, também, a curva carga-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), onde $480/30 = 16\ mm$. Através da curva carga-recalque da Figura 43, obtém-se o valor de tensão para um recalque de 16 mm de aproximadamente 256 kPa, que, ao ser dividido pelo coeficiente de segurança 2, indicado pela NBR 6122/2010, e descrito no item 2.8 da revisão bibliográfica, chega-se ao valor de $\sigma_{adm} = 128\ KPa$.

Percebe-se que os valores de tensão admissível encontrados através dos critérios de literatura para a análise da curva tensão-recalque da Figura 31 são bastante semelhantes, sendo assim, escolheu-se adotar a média destes dois valores como o valor de tensão admissível, chegando-se ao valor $\sigma_{adm} = 136{,}25\ KPa$, para a placa de 48 cm.

Para a placa de 80 cm, ao aplicar-se os valores encontrados na curva carga-recalque extrapolada apresentada na Figura 43, obtém-se a seguinte condição para o solo estudado:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{\sigma_R}{2} \\ \sigma_{10} \\ \frac{\sigma_{25}}{2} \end{cases} \quad \sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{292}{2} \\ 199 \\ \frac{252}{2} \end{cases}$$

Chega-se assim, em um valor de tensão admissível $\sigma_{adm} = 126\ KPa$ para o solo estudado em Santa Rosa, através do ensaio com a placa de 80 cm.

Ainda de acordo com o item 2.6.6 da revisão bibliográfica, analisou-se, também, a curva carga-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) *apud* Russi (2007), onde

$800/30 \cong 27\ mm$. Através da curva carga-recalque da Figura 43, obtém-se o valor de tensão para um recalque de 27 mm de aproximadamente 257 kPa, que, ao ser dividido pelo coeficiente de segurança 2, indicado pela NBR 6122/2010, e descrito no item 2.8 da revisão bibliográfica, chega-se ao valor de $\sigma_{adm} = 128{,}5\ KPa$.

Percebe-se que os valores de tensão admissível encontrados através dos critérios de literatura para a análise da curva tensão-recalque extrapolada pra placa de 80 cm são bastante semelhantes, sendo assim, escolheu-se adotar a média destes dois valores como o valor de tensão admissível, chegando-se ao valor $\sigma_{adm} = 127{,}25\ KPa$.

4.3.3.2 Análise do Ensaio de Placa Quanto ao Recalque

A análise visual do local após a realização do ensaio com a placa de 48 cm indicou uma ruptura do solo característica por puncionamento, conforme detalhado no item 2.5 da revisão bibliográfica e é ilustrada na Figura 44 abaixo.

Figura 44 - Solo local após ruptura – Santa Rosa

Fonte: Autoria Própria

O solo apresentou, também, leituras do ponto de ruptura em r1, r2 e r3 de, respectivamente, 26,14 mm; 26,50 mm; e 26,70 mm, que, após serem compensadas, apresentam um valor de r médio de 25,63 mm.

Quanto à capacidade elástica do solo, este pode ser considerado um solo bastante plástico, uma vez que, conforme representado na curva carga – recalque da Figura 39, o solo não apresenta uma recuperação significantes após seu ponto de ruptura, indicando assim, ser um solo plástico, e não elástico.

Uma vez que durante a realização do ensaio com a placa de 80 cm não se atingiu o ponto de ruptura do solo, não há como fazer-se a análise visual do tipo de recalque apresentado.

4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SONDAGEM SPT

Neste item, apresentam-se os resultados e análises da resistência dinâmica dos solos, obtidos através dos ensaios de sondagem SPT, descrito no item 2.3.1 da Revisão e no item 3.4 da metodologia.

4.4.1 Coronel Barros

O ensaio de sondagem foi realizado pela empresa FUNDERS – Engenharia de Fundações, cujo relatório seguiu a terminologia recomendada pela NBR 6502/1995. O boletim de sondagem do furo 1 (local próximo ao da realização do ensaio de placa) encontra-se no Anexo A. Uma vez que o ensaio de placa foi realizado na cota de assentamento da superfície do local, considerou-se como valor do N_{SPT} característico a média dos valores constantes da profundidade equivalente a um bulbo de tensões com profundidade equivalente a duas vezes o diâmetro da placa. Como isso adotou-se os valores médios de $N_{SPT} = 9$ para placa de 48 cm e de $N_{SPT} = 9{,}5$ para placa de 80 cm. Estes valores foram adotados para as metodologias de cálculo apresentadas nos itens 4.5 e 4.6 na sequência.

4.4.2 Ijuí

O ensaio de sondagem foi realizado e cedido pela empresa MINERAG – Comércio de Produtos de Mineração e Tratamento de Água Ltda. O boletim de sondagem encontra-se no Anexo B. Uma vez que o ensaio de placa foi realizado na cota de assentamento da superfície do local, adotou-se como média característica pelo mesmo critério utilizado para o solo de Coronel Barros o valor de $N_{SPT} = 7$ para placa de 48 cm e de $N_{SPT} = 7{,}25$ para placa de 80 cm.

4.4.3 Santa Rosa

O ensaio de sondagem foi realizado e cedido pelo ex-aluno de Engenharia Civil da UNIJUI Lucas Riske, realizado no mesmo local de realização dos ensaios de placa em Santa Rosa. (RISKE, 2015)

O boletim de sondagem do furo encontra-se no Anexo C. Uma vez que o ensaio de placa foi realizado na cota de assentamento da superfície do local, adotou-se como média característica pelo mesmo critério utilizado para o solo de Coronel Barros o valor de $N_{SPT} = 8$, para a placa de 48 cm, e de $N_{SPT} = 7{,}5$ para a placa de 80 cm.

4.5 CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA

Nesta seção, apresentam-se a obtenção e os valores estimados da tensão admissível para os solos de estudo, através das metodologias de cálculo descritas no item 2.6 da revisão bibliográfica.

4.5.1 Teoria de Terzaghi

Utilizou-se a equação 4 apresentada no item 2.6.1 da revisão bibliográfica, aplicando-se os fatores de forma para sapata circular da Tabela 1, e os fatores de redução nos parâmetros de resistência do solo (c e ϕ), sugerido por Terzagui e Peck (1962, p. 200) conforme as equações 5 e 6. Desta forma a partir do valor do ângulo de atrito efetivo, reduzido, obtêm-se os valores tabelados de capacidade de carga $N_c, N_q, e\ N_\gamma$, através da tabela de Vesic (1975) apresentada em Cintra, Aoki e Albiero (2003) e (2014). Desconsiderou-se o peso de sobrecarga em função da cota de assentamento ser a superfície do local. Antes, porém, devemos estimar os valores de coesão (c) e peso específico (γ), sendo utilizadas as tabelas 10 e 11 a partir do valor adotado de N_{SPT}.

Tabela 10 – Valores de coesão

Argilas	Standart Penetration Test (SPT)	Coesão c (kPa)
Muito mole	<2	<10
Mole	2 a 4	10 a 25
Média	4 a 8	25 a 50
Rija	8 a 15	50 a 100
Muito rija	15 a 30	100 a 200
Dura	>30	>200

Fonte: Alonso (2012)

Tabela 11 - Peso específico de solos argilosos

N_{SPT}	Consistência	Peso Específico (KN/m³)
≤ 2	Muito Mole	13
3 – 5	Mole	15
6 – 10	Média	17
11 – 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Fonte: Godoy (1972) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2014)

E para a obtenção o ângulo de atrito interno do solo (ϕ), utilizou-se o menor valor obtido das duas condições a seguir:

Método de Godoy (1983) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2014):

$$\theta = 28° + 0{,}4N$$

Método de Teixeira (1996) *apud* Cintra, Aoki e Albiero (2014):

$$\theta = \sqrt{20N} + 15°$$

A partir dos cálculos efetuados, chegou-se aos valores da Tabela 12, simulando uma sapata circular de 48 cm de diâmetro, e da Tabela 13 simulando uma sapata circular de 80 cm de diâmetro.

Tabela 12 - Valores de Terzaghi simulando placa de 48 cm

Solo	Fatores do solo dependentes do Nspt					
	c	ϕ	c'	ϕ'	σ_{rup}	σ_{adm}
Coronel Barros	50	28,42	33,33	19,83	670,81	223,60
Ijuí	43,75	26,83	29,17	19,25	544,88	181,63
Santa Rosa	50	27,65	33,33	19,25	670,81	223,60

Fonte: Autoria Própria

Tabela 13 - Valores de Terzaghi simulando placa de 80 cm

Solo	Fatores do solo dependentes do Nspt					
	c	ϕ	c'	ϕ'	σ_{rup}	σ_{adm}
Coronel Barros	59,375	28,78	39,58	20,12	861,43	287,14
Ijuí	45,31	27,04	30,21	18,79	570,63	190,21
Santa Rosa	46,875	27,25	31,25	18,95	589,73	196,58

Fonte: Autoria Própria

4.5.2 Método de Ruver e Consoli

Para o cálculo da tensão admissível do solo pelo método de Ruver e Consoli (2006), utiliza-se, conforme sugestão dos autores, a correção dos valores de N_{SPT}, conforme item 2.3.2 da revisão bibliográfica. Ao aplicar-se, então, os valores médios de N_{SPT} descritos no item 4.3 deste capítulo, à equação 1, obtém-se o valores médios de N_{SPT60} de acordo com a tabela. As tabelas 14 e 15 abaixo, apresentam os valores de N_{SPT72} e N_{SPT60} obtidos.

Tabela 14 - Valores de Nspt considerando diâmetro de 48 cm

Amostra de solo	N_{SPT72}	N_{SPT60}
Coronel Barros	9	10,8
Ijuí	7	8,4
Santa Rosa	8	9,6

Fonte: Autoria Própria

Tabela 15 - Valores de Nspt considerando diâmetro de 80 cm

Amostra de solo	N_{SPT72}	N_{SPT60}
Coronel Barros	9,5	11,4
Ijuí	7,25	8,7
Santa Rosa	7,5	9

Fonte: Autoria Própria

Ao aplicar-se, então, os valores de N_{SPT60} descritos acima nas equações 7, 10 e 11 descritas na revisão bibliográfica, obtém-se os valores estimados de limite inferior, médio e superior da tensão admissível do solo de estudo, simulando uma sapata circular de 48 cm e 80 cm de diâmetro, cujos valores são respectivamente apresentados nas Tabelas 16 e 17 abaixo.

Tabela 16 – Limites de Ruver e Consoli simulando sapata circular de 48 cm

	Limites	Tensão (kPa)
Cel. Barros (48 cm)	Limite Superior:	154,59
	Limite Médio:	103,03
	Limite Inferior:	51,47
Ijuí (48 cm)	Limites	Tensão (kPa)
	Limite Superior:	132,74
	Limite Médio:	80,14
	Limite Inferior:	27,53
Sta. Rosa (48 cm)	Limites	Tensão (kPa)
	Limite Superior:	143,10
	Limite Médio:	40,07
	Limite Inferior:	91,58

Fonte: Autoria Própria

Tabela 17 - Limites de Ruver e Consoli simulando sapata circular de 80 cm

	Limites	Tensão (kPa)
Cel. Barros (80 cm)	Limite Superior:	160,77
	Limite Médio:	108,76
	Limite Inferior:	56,74
Ijuí (80 cm)	Limites	Tensão (kPa)
	Limite Superior:	135,22
	Limite Médio:	83,00
	Limite Inferior:	30,77
Sta. Rosa (80 cm)	Limites	Tensão (kPa)
	Limite Superior:	137,78
	Limite Médio:	33,94
	Limite Inferior:	85,86

Fonte: Autoria Própria

4.5.3 Método de Teixeira e Godoy

Para este método, utilizam-se os valores de N_{SPT} apresentados no item 4.3 sem aplicação de correção, estes, por sua vez, ao serem aplicados na equação 12 da revisão bibliográfica geram o valores estimado da tensão admissível para o solo de estudo. As tabelas 18 e 19 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 18 – Tensões admissíveis por Teixeira e Godoy para 48 cm

Amostra de Solo	Tensão Admissível (kPa)
Coronel Barros	180
Ijuí	140
Santa Rosa	160

Fonte: Autoria Própria

Tabela 19 - Tensões admissíveis por Teixeira e Godoy simulando sapata de 80 cm

Amostra de Solo	Tensão Admissível (kPa)
Coronel Barros	190
Ijuí	145
Santa Rosa	150

Fonte: Autoria Própria

4.5.4 Método de Mello

Para este método, utilizam-se os valores de N_{SPT} apresentados no item 4.3 sem aplicação de correção, estes, por sua vez, ao serem aplicados na equação 13 da revisão bibliográfica geram o

valores estimado da tensão admissível para o solo de estudo. Os resultados são apresentados nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Tensões admissíveis por Mello simulando sapata de 48 cm

Amostra de Solo	Tensão Admissível (kPa)
Coronel Barros	282,84
Ijuí	244,95
Santa Rosa	264,58

Fonte: Autoria Própria

Tabela 21 - Tensões admissíveis por Mello simulando sapata de 80 cm

Amostra de Solo	Tensão Admissível (kPa)
Coronel Barros	291,55
Ijuí	250,00
Santa Rosa	254,95

Fonte: Autoria Própria

4.5.5 Tabela NBR 6122/1996

Embora a versão em vigor da NBR 6122 proíba o uso de métodos empíricos para a estimativa da tensão admissível, como a Tabela 2 do item 2.6.5 da revisão bibliográfica, utilizou-se este método apenas por análise acadêmica. Esta, por sua vez, consiste em apresentar um valor básico de tensão admissível baseado numa análise das características visuais do solo de estudo.

Considerando-se que o solo de estudado das três cidades seja um solo argiloso de consistência média, obtém-se um valor de $\sigma_{adm} = 100\ kPa$ para todos os referentes solos.

4.6 CÁLCULOS DE ESTIMATIVA DE RECALQUES

Apresenta-se neste item, a obtenção e os valores estimados de recalque para os solos de estudo, através das metodologias de cálculo descritas no item 2.9 da revisão bibliográfica. Para análise e comparação dos recalques estimados, utilizaram-se os ensaios de placa de 48 cm, uma vez que estes chegaram à ruptura do solo, o que infelizmente não ocorreu nos ensaios com as placas de 80 cm, que não apresentaram um comportamento próximo à ruptura.

4.6.1 Teoria da Elasticidade

Através da Teoria da Elasticidade Linear, apresentada no item 2.9.1 da revisão bibliográfica, calculou-se, para diferentes incrementos de carga, o recalque estimado através da

equação 17. Adotou-se o valor para o coeficiente de Poisson $v = 0{,}5$, considerando-se a pior situação para um solo argiloso, segundo a **Tabela 22 - Coeficiente de Poisson (Teixeira e Godoy, 1996)**Tabela 22 abaixo.

Tabela 22 - Coeficiente de Poisson (Teixeira e Godoy, 1996)

Solo	v
Areia pouco compacta	0,2
Areia compacta	0,4
Silte	0,3 – 0,5
Argila saturada	0,4 – 0,5
Argila não saturada	0,1 – 0,3

Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2014)

E para o valor do módulo de elasticidade do solo E_s, utilizou-se a equação para estimativa do módulo de elasticidade para solos residuais desenvolvida por Ruver (2005), apresentada na equação 31 a seguir.

$$E_s = 2{,}01.N_{SPT60} \tag{28}$$

Assim através da análise feita pela comparação dos valores de recalque obtidos durante os ensaios com a placa de 48 cm (w real), resultaram os valores apresentados na Tabela 23 abaixo.

Tabela 23 – Recalques pela Teoria da Elasticidade

Coronel Barros			Ijuí		Santa Rosa	
Carga	Recalque (mm)		Recalque (mm)		Recalque (mm)	
	w centro	w real	w centro	w real	w centro	w real
49	0,81	0,06	1,04	0,00	0,91	0,09
97	1,61	0,85	2,07	0,45	1,81	1,65
146	2,42	1,75	3,11	1,16	2,72	2,34
194	3,22	2,73	4,14	2,46	3,62	5,49
243	4,03	4,96	5,18	3,88	4,53	12,95
292	4,84	8,7	6,23	21,31	5,45	25,63
369	6,12	22,98	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria

4.6.2 Método de Schultze e Sherif

Através do método de Schultze e Sherif (1973), descrito no item 2.9.2 da revisão bibliográfica, calcularam-se, para diferentes incrementos de carga, o recalque estimado através da equação 18, e compararam-se, estes valores de cálculo, com os valores encontrados durante a

realização do ensaio de carregamento com a placa de 48 cm dos locais de estudo, apresentados na Tabela 24 abaixo.

Tabela 24 - Recalques por Schultze e Sehrif

Carga	Coronel Barros		Ijuí		Santa Rosa	
	Recalque (mm)		Recalque (mm)		Recalque (mm)	
	w real	w de cálculo	w real	w de cálculo	w real	w de cálculo
49	0,06	2,68	0,00	3,34	0,09	2,97
97	0,85	5,31	0,45	6,60	1,65	5,88
146	1,75	7,99	1,16	9,94	2,34	8,85
194	2,73	10,61	2,46	13,21	5,49	11,76
243	4,96	13,29	3,88	16,54	12,95	14,73
292	8,7	15,97	21,31	19,88	25,63	17,70
369	22,98	20,19	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria

4.6.3 Método de Ruver

Através do método de Ruver (2005) descrito no item 2.9.3 da revisão bibliográfica, calcularam-se, para diferentes incrementos de carga, o recalque estimado para os limites superior, inferior e médio, e estes foram comparados com o recalque médio efetivo, obtido das leituras compensadas do ensaio de carregamento em placa. Os resultados são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Recalques por Ruver

Carga	Real	Coronel Barros			Ijuí			Santa Rosa		
		Recalque (mm)			Recalque (mm)			Recalque (mm)		
		Valor Médio	Valor Superior	Valor Inferior	Valor Médio	Valor Superior	Valor Inferior	Valor Médio	Valor Superior	Valor Inferior
49	0,06	0,79	14,70	0,04	1,00	18,57	0,05	0,88	16,40	0,05
97	0,85	1,57	29,09	0,08	1,98	36,75	0,11	1,75	32,46	0,09
146	1,75	2,36	43,79	0,13	2,98	55,32	0,16	2,63	48,86	0,14
194	2,73	3,14	58,19	0,17	3,96	73,51	0,21	3,50	64,92	0,19
243	4,96	3,93	72,88	0,21	4,96	92,07	0,27	4,38	81,32	0,24
292	8,7	4,72	87,58	0,25	5,96	110,64	0,32	5,27	97,72	0,28
369	22,98	5,97	110,67	0,32	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria

4.6.4 Método de Burland & Burbidge

Através do método de Burland & Burbidge (1985), apresentado no item 2.9.4 da revisão bibliográfica, calcularam-se, para diferentes incrementos de carga, o recalque estimado através da

equação 23, e comparou-se, estes valores de cálculo, com os valores encontrados durante a realização do ensaio de carregamento com a placa de 48 cm dos locais de estudo. Os resultados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Recalques por Burland e Burbidge

Carga	Coronel Barros		Ijuí		Santa Rosa	
	Recalque (mm)		Recalque (mm)		Recalque (mm)	
	real	de cálculo	real	de cálculo	real	de cálculo
0	0	0	0	0	0	0
49	0,06	2,31	0,06	3,29	0,06	2,73
97	0,85	4,58	0,85	6,51	0,85	5,40
146	1,75	6,89	1,75	9,80	1,75	8,13
194	2,73	9,16	2,73	13,02	2,73	10,80
243	4,96	11,47	4,96	16,31	4,96	13,53
292	8,7	13,78	8,7	19,59	8,7	16,25
369	22,98	17,42	22,98	24,76	22,98	20,54

Fonte: Autoria Própria

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, apresentam-se as principais conclusões obtidas neste trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros que não puderam ser contemplados nesta pesquisa.

5.1 CONCLUSÕES

Subdividiu-se este item para uma melhor apresentação das conclusões obtidas neste trabalho.

5.1.1 Quanto aos ensaios de caracterização geotécnica

As amostras obtidas dos três locais de estudo apresentaram uma composição granulométrica fina, com um percentual maior de 90% passante na peneira nº 200.

Os solos das cidades de Coronel Barros e Ijuí apresentaram alto teor de plasticidade (IP de 23% e 29%), pertencente ao grupo A-7-5 pelo método da HRB, já o solo de Santa Rosa apresentou um baixo teor de plasticidade (IP de 6%), pertencente ao grupo A-5 pelo método da HRB. Todos os referentes solos foram classificados no grupo MH pelo SUCS.

A massa específica real apresentada pelas três amostras apresentou valores de 2,55 g/cm³ à 2,885 g/cm³. A massa específica aparente apresentou valores de 1,382 g/cm³ à 1,501 g/cm³.

5.1.2 Quanto aos ensaios de sondagem SPT

Os valores médios do bulbo de tensões da placa de 48 e de 80 cm de diâmetro apresentaram valores adotados do N_{SPT} entre 7 a 9. Esses valores são aferidos a argilas de consistência média.

5.1.3 Quanto aos ensaios de carregamento em placas

Quanto a tensão admissível média final obtida através dos ensaios realizados com a placa de 48 cm de diâmetro apresentaram valores de 136,25 kPa a 180 kPa. Podendo assim, considerar-se que os valores obtidos destes ensaios se encontram em uma mesma faixa de valores.

A tensão admissível média final obtida através dos ensaios realizados com a placa de 80 cm de diâmetro apresentaram valores de 138,5 kPa para Ijuí e 127,25 kPa para Santa Rosa. Podendo

assim, considerar-se que os valores obtidos destes ensaios se encontram em uma mesma faixa de valores.

Os referidos ensaios de placa apresentaram uma ruptura característica da curva C_2, apresentada por Terzaghi (1943), e descrita no item 2.6.1 da revisão bibliográfica. Este ponto, embora não ter atingido um valor de recalque médio de 25 mm, nos casos de estudo em Coronel Barros e Ijuí, apresenta uma clara definição de ruptura, pela queda acentuada, que é apresentada na curva carga – recalque.

Quanto à caracterização visual do solo após a execução dos ensaios de placa, em todos os referentes casos, o solo apresentou um significativo afundamento, cisalhando-os rente às bordas da placa, indicando uma ruptura característica por puncionamento. Tal análise corrobora o mesmo comportamento visualizado em Russi (2007) e Kublick (2010), nos ensaios de placa realizados em Santo Ângelo e Santa Maria, em suas respectivas dissertações de mestrado.

5.1.4 Quanto aos métodos de estimativa de tensão admissível

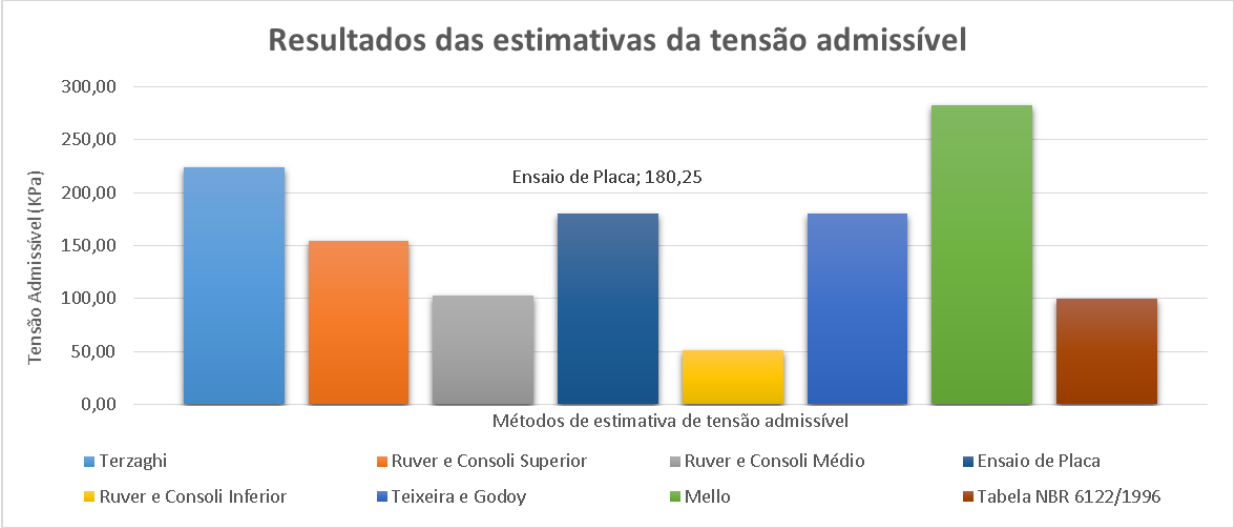
A comparação do valor da tensão admissível obtida pelo ensaio com a placa de 48 cm de diâmetro em Coronel Barros, com os valores estimados de cálculo para o local resultou na Tabela 27, cujos resultados são ilustrados no gráfico da Figura 45.

Tabela 27 – Comparação das tensões caso Cel. Barros – placa 48 cm

PLACA 48		
Método	Tensão Admissível (KPa)	% de diferença
Ensaio de Placa	180,25	-
Terzaghi	223,60	24
Ruver e Consoli Superior	154,59	-14
Ruver e Consoli Médio	103,03	-43
Ruver e Consoli Inferior	51,47	-71
Teixeira e Godoy	180	0
Mello	282,84	57
Tabela NBR 6122/1996	100	-45

Fonte: Autoria Própria

Figura 45 – Comparação das tensões obtidas para Coronel Barros – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

As comparações dos valores das tensões admissível obtidas pelos ensaios com a placa de 48 cm e 80 cm de diâmetro em Ijuí, com os valores estimados de cálculo para o local resultou nas Tabelas 31 e 32, cujos resultados são ilustrados no gráfico das Figuras 46 e 47.

Tabela 28 - Comparação das tensões caso Ijuí – placa 48 cm

PLACA 48		
Método	Tensão Admissível (KPa)	% de diferença
Ensaio de Placa	142,50	-
Terzaghi	181,63	27
Ruver e Consoli Superior	132,74	-7
Ruver e Consoli Médio	80,14	-44
Ruver e Consoli Inferior	27,53	-81
Teixeira e Godoy	140	-2
Mello	244,95	72
Tabela NBR 6122/1996	100	-30

Fonte: Autoria Própria

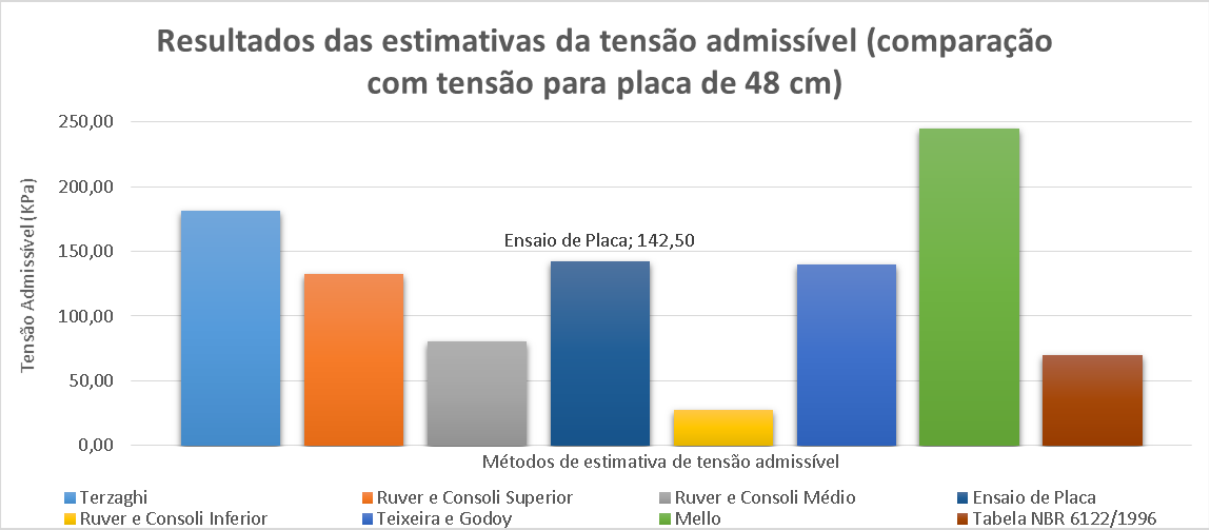
Tabela 29 - Comparação das tensões caso Ijuí – placa 80 cm

PLACA 80		
Método	Tensão Admissível (KPa)	% de diferença
Ensaio de Placa	138,5	-
Terzaghi	190,21	37
Ruver e Consoli Superior	135,22	-2
Ruver e Consoli Médio	83,00	-40
Ruver e Consoli Inferior	30,77	-78

Teixeira e Godoy	145	5
Mello	250,00	81
Tabela NBR 6122/1996	100	-28

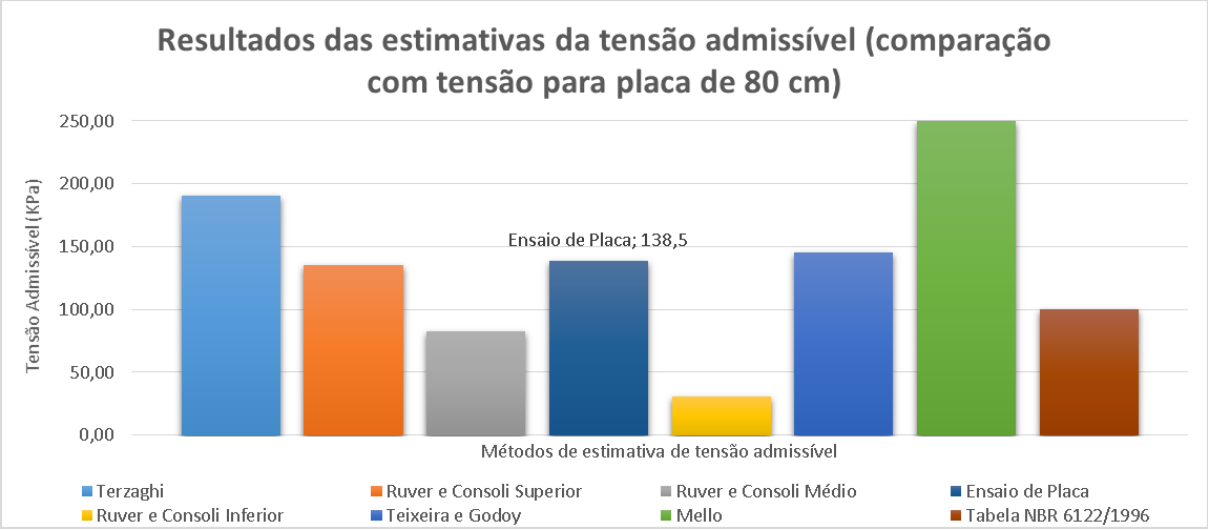
Fonte: Autoria Própria

Figura 46 - Comparação das tensões obtidas para Ijuí – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

Figura 47 - Comparação das tensões obtidas ara Ijuí - placa 80 cm



Fonte: Autoria Própria

As comparações dos valores das tensões admissível obtidas pelos ensaios com a placa de 48 cm e 80 cm de diâmetro em Santa Rosa, com os valores estimados de cálculo para o local resultou nas Tabelas 33 e 34, cujos resultados são ilustrados no gráfico das Figuras 48 e 49.

Tabela 30 - Comparação das tensões caso Santa Rosa – placa 48 cm

PLACA 48		
Método	Tensão Admissível (KPa)	% de diferença
Ensaio de Placa	136,25	-
Terzaghi	223,60	64
Ruver e Consoli Superior	143,10	5
Ruver Consoli Médio	91,58	-33
Ruver Consoli Inferior	40,07	-71
Teixeira e Godoy	160	17
Mello	264,58	94
Tabela NBR 6122/1996	100	-27

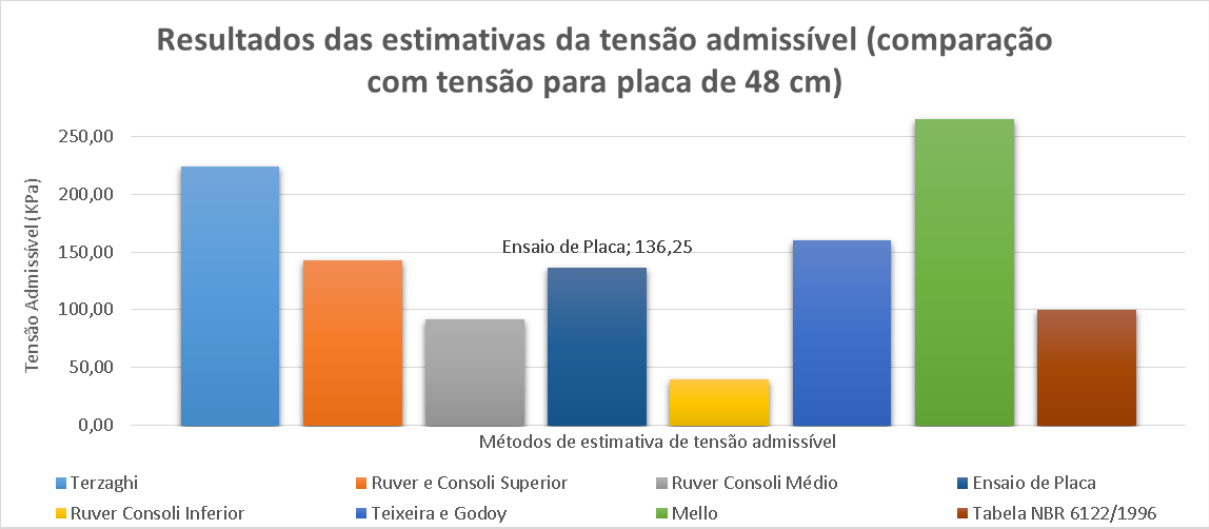
Fonte: Autoria Própria

Tabela 31 - Comparação das tensões caso Santa Rosa – placa 80 cm

PLACA 80		
Método	Tensão Admissível (KPa)	% de diferença
Ensaio de Placa	127,25	-
Terzaghi	196,58	54
Ruver e Consoli Superior	137,78	8
Ruver Consoli Médio	85,86	-33
Ruver Consoli Inferior	33,94	-73
Teixeira e Godoy	150	18
Mello	254,95	100
Tabela NBR 6122/1996	100	-21

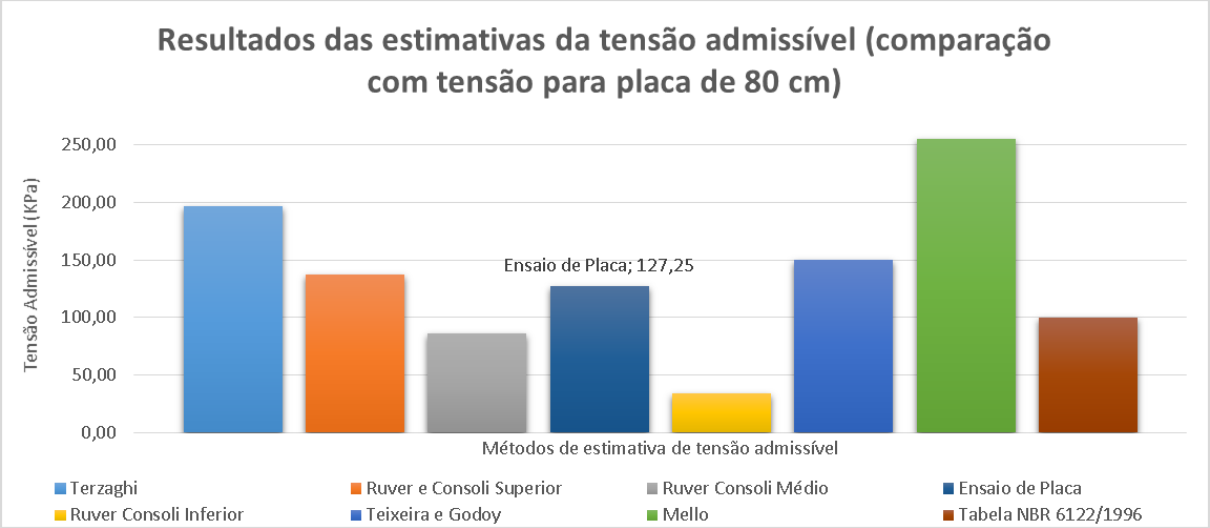
Fonte: Autoria Própria

Figura 48 - Comparação das tensões obtidas para Santa Rosa – placa 48 cm



Fonte: Autoria Própria

Figura 49 - Comparação das tensões obtidas para Santa Rosa – placa 80 cm



Fonte: Autoria Própria

Através da análise dos gráficos acima, é possível apresentar as seguintes considerações:

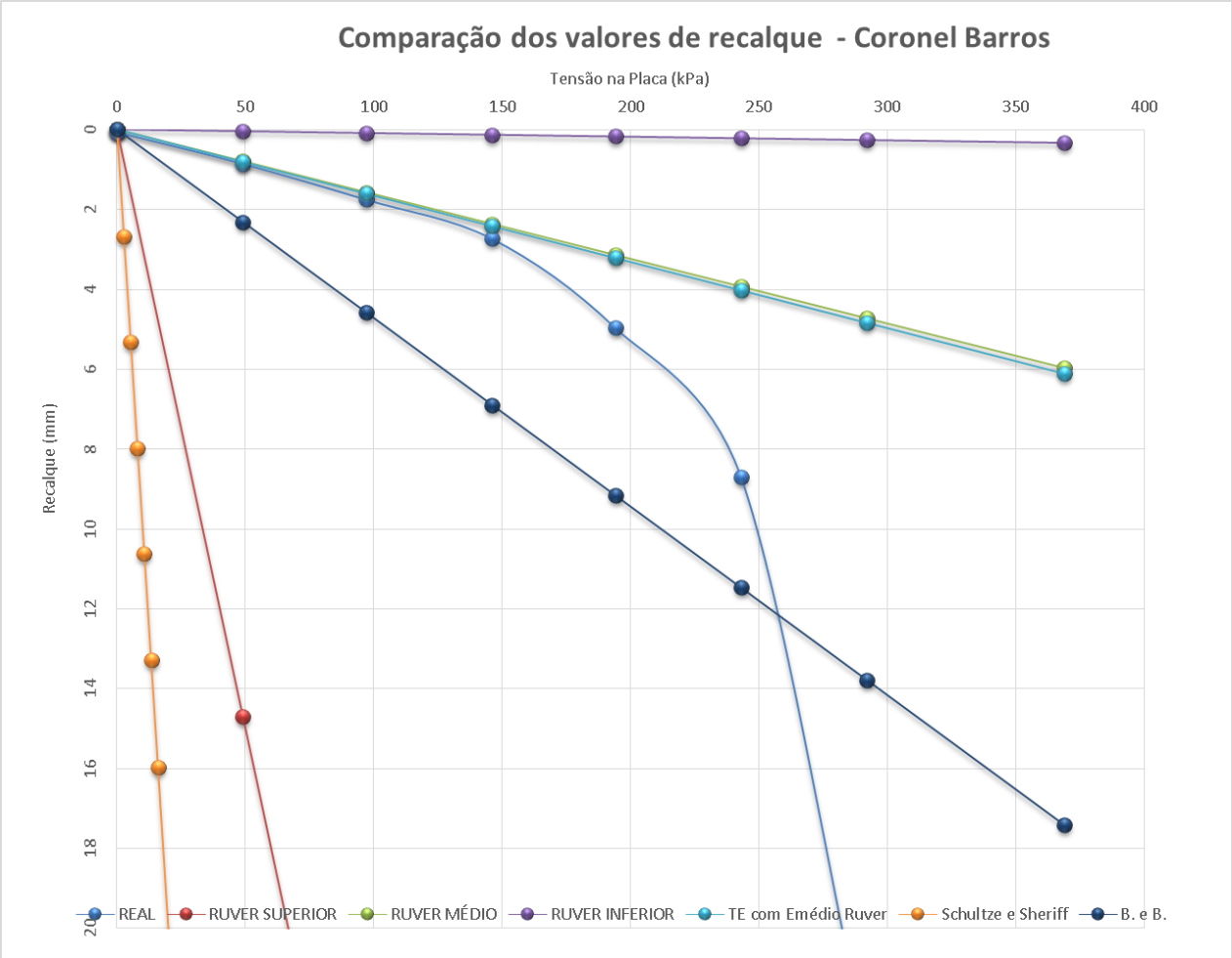
- O método de Terzaghi (1943) superestima a tensão admissível do solo, com um valor apresentado de 27% a 64% maior que o valor obtido através do ensaio de placa;
- O valor superior da tensão admissível obtido através do método de Ruver e Consoli (2006) e pelo método de Teixeira e Godoy (1998) apresentam uma similaridade muito próxima dos valores de tensão admissível obtidos pelos ensaios de placa;
- O valor superior da tensão admissível obtido através do método de Ruver e Consoli (2006) apresentou uma diferença muito pequena de valores entre 2% a 14% dos valores obtidos através dos ensaios de placa, mostrando-se concordante com a faixa obtida no ensaio de placa;
- O método de Teixeira e Godoy (1998) apresentou uma diferença de valores muito pequena entre 2% a 18%, igualando praticamente a capacidade do solo para maioria dos casos. Atenta-se para o caso da comparação dos valores de tensão admissível para placa de 48 cm em Coronel Barros, onde a tensão estimada coincidiu perfeitamente com a tensão de campo.
- Já o método de Mello (1975) é o que mais se distinguiu entre os métodos de cálculo, apresentando uma superestimação da capacidade do solo em todos os casos, chegando em um valor de tensão até 100% maior que a tensão pela placa de 80 cm em Santa Rosa.

- A tensão estimada pela tabela da NBR 6122/1996 apresentou um valor de tensão admissível de 100 kPa para todos os solos de estudo, subestimando a capacidade de todos os referentes solos estudados

5.1.5 Quanto aos métodos de estimativa de recalque

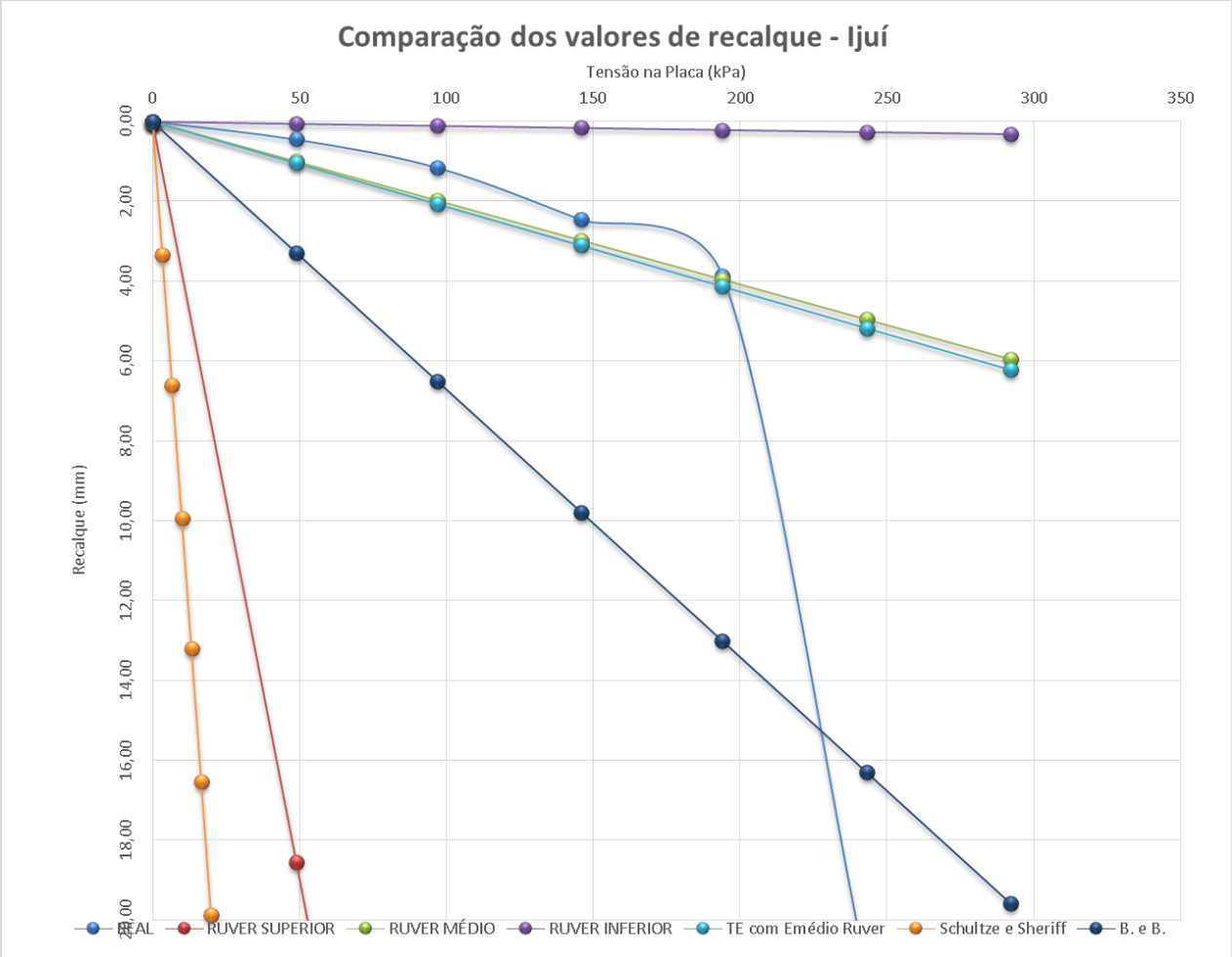
Através da comparação dos recalques estimados pelas metodologias de cálculo com os valores apresentados através dos ensaios com a placa de 48 cm de diâmetro para os três locais de estudo, gerou-se os gráficos ilustrados nas Figuras 50, 51 e 52 abaixo, onde mostra-se o trecho inicial da curva de carregamento do ensaio de placa e as linhas resultantes dos métodos utilizados.

Figura 50 – Comparação dos métodos de recalque – Coronel Barros



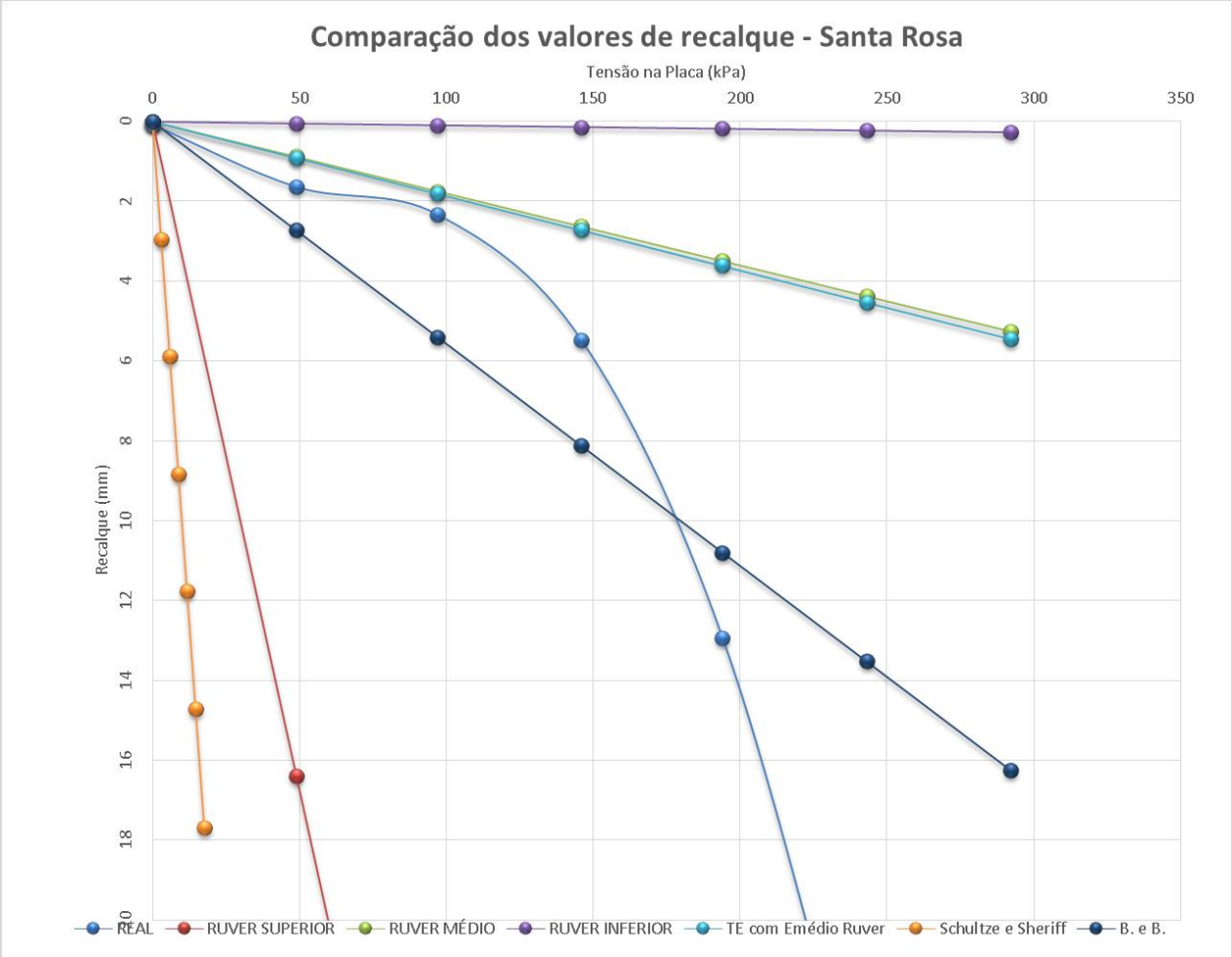
Fonte: Autoria Própria

Figura 51 - Comparação dos métodos de recalque – Ijuí



Fonte: Autoria Própria

Figura 52 - Comparação dos métodos de recalque – Santa Rosa



Fonte: Autoria Própria

Através da análise dos gráficos apresentados é possível apresentar as seguintes considerações:

- Os valores apresentados pela Teoria da Elasticidade e o limite médio do Método de Ruver (2005) apresentam linhas praticamente iguais enquanto o solo se comporta de forma elástica (até cerca de 50 % da tensão de ruptura) para todos os casos de estudo, e estes apresentam o melhor desempenho de estimação;
- O método de Burland e Burbidge (1985) é o terceiro método que mais se aproxima do recalque obtido pelos ensaios de placa, entretanto, este já não apresenta um comportamento tão satisfatório quanto os dois métodos citados anteriormente;

- As linhas apresentadas pelos valores inferiores e superiores do método de Ruver (2005), e pelo método de Shultze e Sheriff (1973) não apresentaram um comportamento satisfatório para estimativa dos recalques apresentados nos casos estudados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresenta-se, neste item sugestões e melhorias para futuras pesquisas, que não puderam ser contemplados nesta pesquisa até o presente momento:

a) Aumentar a base de dados de campo através da realização de mais ensaios de carregamento em placa em solos residuais do noroeste gaúcho;
b) Verificar possíveis erros de estimativa que possam ter ocorrido na execução das metodologias de cálculo e análise dos ensaios;
c) Dispor de um sistema de reação que seja suficiente para levar a ruptura os ensaios com a placa de 80 cm;
d) Estudar e comparar outras metodologias de cálculo de tensão admissível e recalques com os resultados obtidos em campo
e) Realizar ensaios de cisalhamento direto para obter os coeficientes angulares dos solos estudados e recalcular as tensões utilizando os valores obtidos no ensaio de cisalhamento.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2012. p. 204.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010. 91 p.

_____. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

_____. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

_____. NBR 6484: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 2011. 17 p.

_____. NBR 6489: Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.

_____. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

_____. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988. 3 p.

_____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988. 13 p.

_____. NBR 7182: Ensaio normal de compactação de solos. Rio de Janeiro, 1988. 10 p.

_____. NBR 9895: Solo – Índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL. **Diretrizes para classificação de sondagens.** São Paulo, 2013. 118 p.

BERNARDI, Cândida. **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico com agregados finos para uso em pavimentos econômicos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2013. 68 f.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações:** complementos de geotécnica, fundações e infraestrutura. v. 4. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977. 183 p.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 135.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações** diretas: projeto geotécnico. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014. p. 140.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução: All Tasks. São Paulo: Thomson Learning, 2007. p. 562.

GOOGLE MAPS. Disponível em < https://www.google.com.br/maps/@-29.9745602,-54.7250629,7z> Acesso em: 24 out. 2015.

KUBLICK, Cristiane. **Ensaios de placa em solo laterítico na cidade de Santo Ângelo**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves. **Geologia de Engenharia.** 7. Ed. São Paulo: FAPESP, 2011. 586 p.

PINTO, Carlos de Souza. Propriedades dos solos. In: HACHICH, Waldemar (Org). et al. **Fundações**: teoria e prática. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998. 754 p.

QUARESMA, Arthur Rodrigues; QUARESMA FILHO, Arthur Rodrigues; DÉCORT, Luciano. Investigações Geotécnicas. In: HACHICH, Waldemar (Org). et al. **Fundações**: teoria e prática. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998. 754 p.

MOREIRA, Renan. **Estudo da capacidade de carga e recalque de solo residual de basalto**. 2014. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

RISKE, Lucas. **Análise Da Capacidade De Carga E Recalque De Solo Residual Da Cidade De Santa Rosa – Rs.** 2015. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

RUSSI, Daniel. **Estudo do comportamento de solos traves de ensaios de placa de diferentes diâmetros**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RUVER, C. A. **Determinação do Comportamento Carga-Recalque de Sapatas em Solos Residuais a partir de Ensaios SPT.** Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2005, 179 f.

RUVER, C. A.; CONSOLI, N. C. Tensão admissível de fundações superficiais assentes em solos residuais determinada a partir de ensaios SPT. In. GEOSUL. 2006, [S.l]. **Anais**..., 2006.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, p. 223.

SIMONS, E. Noel; MENZIES, K. Bruce. **Introdução à engenharia de fundações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1981. p. 199.

TEIXEIRA, Alberto Henrique; GODOY, Nelson Silveira. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH, Waldemar (Org). et al. **Fundações**: teoria e prática. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998. 754 p.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Mecânica dos solos na pratica da engenharia.** Tradução Antônio José da costa nunes e Maria de Lourdes campos campelo. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1962. p. 501.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos econômicos**: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. Parte 1. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 291 p.

APÊNDICE A – TABELA DE LEITURAS CEL. BARROS – PLACA 48 CM

CARREGAMENTO - PLACA DE 48 CM						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(min)	(medida em campo)		
0	0	0	0	30	30	30
50	9	49	1	28,75	28,6	28,65
50	9	49	2	28,72	28,57	28,62
100	18	97	1	28,28	28	28,17
100	18	97	2	28,26	27,02	28,16
150	26	146	1	27,5	27,04	27,34
150	26	146	2	27,44	26	27,32
200	35	194	1	26,34	25,6	25,1
200	35	194	2	26,24	25,56	26,06
200	35	194	4	26,21	25,55	26,04
250	44	243	1	24,2	23,26	23,91
250	44	243	2	24,16	23,2	23,87
250	44	243	4	24,12	23,17	23,83
300	53	292	1	20,85	19,66	20,3
300	53	292	2	20,76	19,56	20,22
300	53	292	4	20,69	19,41	20,15
300	53	292	8	20,62	19,3	20,06
300	53	292	15	20,63	19,25	20,01
350	62	340	1	17,17	15,64	16,51
350	62	340	2	17,02	15,42	16,41
350	62	340	4	16,9	15,32	16,31
350	62	340	8	16,82	15,23	16,21
350	62	340	15	16,76	15,18	16,14
380	67	369	1	8,7	6,55	7,1
380	67	369	2	7,44	5,25	6,95
380	67	369	4	7,17	4,95	6,5
380	67	369	8	6,86	4,7	6,25
380	67	369	15	6,7	4,51	6,05
380	67	369	30	6,62	4,45	5,99

DESCARREGAMENTO						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(mim)	(medida em campo)		
380	67	369	1	8,7	6,55	7,1
380	67	369	2	7,44	5,25	6,95

380	67	369	4	7,17	4,95	6,5
380	67	369	8	6,86	4,7	6,25
380	67	369	15	6,7	4,51	6,05
380	67	369	30	6,62	4,45	5,99
260	46	253	1	6,65	4,46	6,04
260	46	253	2	6,66	4,46	6,05
260	46	253	4	6,66	4,47	6,08
175	31	170	1	6,9	4,79	6,26
175	31	170	2	6,92	4,8	6,27
85	15	83	1	7,51	5,46	6,83
85	15	83	2	7,53	5,49	6,85
10	2	10	1	8	5,97	7,34
10	2	10	2	8,01	5,99	7,35
0	0	0	1	8,2	6,2	7,57
0	0	0	2	8,22	6,23	7,59
sem carga			1	9,4	6,31	9
sem carga			2	9,49	6,39	9,07
sem carga			4	9,57	7,45	9,16
sem carga			8	9,69	7,6	9,25
sem carga			15	9,8	7,74	9,47

APÊNDICE B - TABELA DE LEITURAS IJUÍ – PLACA 48 CM

CARREGAMENTO - PLACA DE 48 CM						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(min)	(medida em campo)		
0	0	0	0	28,39	27,31	29,77
50	9	49	1	27,25	26,33	27,64
50	9	49	2	27,25	26,33	27,64
100	18	97	1	26,71	26,00	27,25
100	18	97	2	26,70	26,00	27,24
100	18	97	4	26,68	25,97	27,22
150	26	146	1	25,85	25,43	26,60
150	26	146	2	25,85	25,45	26,85
150	26	146	4	25,83	25,45	26,55
150	26	146	8	25,80	25,41	26,54
200	35	194	1	24,49	24,79	24,78
200	35	194	2	24,44	24,77	24,73
200	35	194	4	24,40	24,73	24,70
250	44	243	1	22,19	23,52	24,34
250	44	243	2	22,12	23,46	24,29
250	44	243	4	22,05	23,41	24,24
250	44	243	8	22,03	23,365	24,20
300	53	292	1	14,30	17,30	17,60
300	53	292	2	10,20	13,10	17,60
300	53	292	4	3,30	6,75	7,25

DESCARREGAMENTO						
Pressão (kgf/cm²)	**Força (KnN)**	**Tensão na Placa (kPa)**	**Tempo (min)**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
				(medida em campo)		
300	53	292	**4**	**3,30**	**6,75**	**7,25**
250	44	243	1	0,10	1,40	5,10
250	44	243	2	0,00	1,80	5,02
200	35	194	1	-0,91	0,71	5,00
200	35	194	2	-0,91	0,65	4,99
150	26	146	1	-0,95	0,65	4,99
150	26	146	2	-0,97	0,52	4,98
150	26	146	4	-0,98	0,50	4,98
100	18	97	1	0,25	0,50	5,01
100	18	97	2	0,27	0,50	5,01
50	9	49	1	0,40	0,55	5,03

50	9	49	2	0,41	0,55	5,03
0	0	0	1	0,53	0,75	5,07
0	0	0	2	0,55	0,76	5,07
0	0	0	4	0,56	0,76	5,07

APÊNDICE C - TABELA DE LEITURAS IJUÍ – PLACA 80 CM

CARREGAMENTO - PLACA DE 48 CM						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(min)	(medida em campo)		
0	0	0	0	29,21	29,40	29,95
100	18	97	1	27,68	28,25	28,63
100	18	97	2	27,66	28,23	28,62
200	35	194	1	26,43	27,21	27,50
200	35	194	2	26,40	27,19	27,45
200	35	194	4	26,40	27,19	27,45
300	53	292	1	25,04	25,16	26,35
300	53	292	2	25,00	25,13	26,30
300	53	292	4	24,98	25,11	25,30
400	70	389	1	23,44	24,95	24,79
400	70	389	2	23,40	24,93	24,76
400	70	389	4	23,37	24,90	24,73
500	88	486	1	21,10	23,10	22,23
500	88	486	2	21,00	23,00	22,15
500	88	486	4	20,92	22,92	22,06
500	88	486	8	20,89	22,89	22,03
600	106	583	1	16,90	21,05	16,95
600	106	583	2	16,66	20,92	16,62
600	106	583	4	16,37	20,73	16,36
600	106	583	8	16,04	20,45	15,95
600	106	583	15	15,05	20,17	14,40

DESCARREGAMENTO						
Pressão (kgf/cm²)	**Força (KnN)**	**Tensão na Placa (kPa)**	**Tempo (min)**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
				(medida em campo)		
600	106	583	15	15,05	20,17	14,40
500	88	486	1	14,70	20,05	14,82
500	88	486	2	14,63	20,02	16,72
500	88	486	4	14,50	19,98	16,65
400	70	389	1	14,25	19,25	13,74
400	70	389	2	14,25	19,25	13,77
300	53	292	1	14,48	19,40	14,15
300	53	292	2	14,48	19,40	14,15
200	35	194	1	14,83	19,62	14,57
200	35	194	2	14,83	19,62	14,57
100	18	97	1	15,46	20,10	15,21

100	18	97	2	15,46	20,10	15,21
0	0	0	1	17,51	22,18	17,15
0	0	0	2	17,56	22,24	17,21
0	0	0	4	17,61	22,28	17,28
0	0	0	8	17,65	22,32	17,33

APÊNDICE D - TABELA DE LEITURAS STA. ROSA – PLACA 48 CM

CARREGAMENTO - PLACA DE 48 CM						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(min)	(medida em campo)		
0	0	0	0	30	29,95	29,95
50	9	49	1	29,21	29,23	29,1
50	9	49	2	29,2	29,12	29,09
100	18	97	1	28,57	28,36	28,31
100	18	97	2	28,55	28,32	28,3
150	26	146	1	27,15	26,83	26,92
150	26	146	2	27	26,8	26,72
200	35	194	1	24	23,85	23,65
200	35	194	2	23,95	23,73	23,59
200	35	194	4	23,9	23,69	23,48
250	44	243	1	16,55	16,32	16,12
250	44	243	2	16,5	16,27	16,08
250	44	243	4	16,45	16,22	16,02
300	53	292	1	4,05	3,97	3,55
300	53	292	2	4	3,65	3,45
300	53	292	4	3,92	3,57	3,38
300	53	292	8	3,86	3,5	3,3
DESCARREGAMENTO						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(mim)	(medida em campo)		
250	44	243	1	3,86	3,5	3,3
200	35	194	1	4	3,76	3,41
200	35	194	2	4	3,76	3,41
150	26	146	1	4,07	3,89	3,49
150	26	146	2	4,07	3,89	3,49
100	18	97	1	4,39	4,01	4,78
100	18	97	2	4,4	4,03	4,8
100	18	97	4	4,4	4,05	4,8
50	9	49	1	4,67	4,29	4,09
50	9	49	2	4,68	4,3	4,1
50	9	49	4	4,69	4,3	4,1
0	0	0	1	5,05	4,65	4,44
0	0	0	2	5,05	4,66	4,46
0	0	0	4	5,06	4,68	4,48
sem carga	0	0	1	6,19	6,95	5,55
sem carga	0	0	2	6,3	6,07	5,65
sem carga	0	0	4	6,35	6,12	5,71

APÊNDICE E - TABELA DE LEITURAS STA. ROSA – PLACA 80 CM

CARREGAMENTO - PLACA DE 80 CM						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(min)	(medida em campo)		
0	0	0	0	30,52	30,57	30,52
100	18	35	1	29,99	29,77	29,96
100	18	35	2	29,97	29,71	29,95
100	18	35	4	29,97	29,71	29,93
200	35	70	1	29,4	29	29,19
200	35	70	2	29,38	28,95	29,17
200	35	70	4	29,38	28,9	29,16
300	53	105	1	28,64	28,12	28,35
300	53	105	2	28,61	28,1	28,33
300	53	105	4	28,58	28,05	28,3
400	70	140	1	27,47	26,95	27,52
400	70	140	2	27,4	26,86	27,46
400	70	140	4	27,32	26,8	27,41
500	88	175	1	25,05	24,15	25,32
500	88	175	2	24,95	24,05	25,3
500	88	175	4	24,85	24	25,29
500	88	175	8	24,1	23,8	25,2
DESCARREGAMENTO						
Pressão	**FORÇA**	**TENSÃO NA PLACA**	**Tempo**	**R1 (mm)**	**R2 (mm)**	**R3 (mm)**
(kgf/cm²)	(kN)	(kPa)	(mim)	(medida em campo)		
500	88	175	1	24,1	23,8	25,2
400	70	140	1	24,4	23,8	25,1
400	70	140	2	24,42	23,8	25,08
300	53	105	1	24,64	23,97	25,1
300	53	105	2	24,65	23,98	25,1
200	35	70	1	24,95	24,25	25,32
200	35	70	2	24,96	24,26	25,32
100	18	35	4	25,42	24,7	25,72
100	18	35	1	25,43	24,68	25,72
0	0	0	2	25,85	25,05	26,08
0	0	0	4	25,85	25,08	26,09
sem carga	0	0	1	26,48	25,82	26,81
sem carga	0	0	2	26,55	25,87	26,87
sem carga	0	0	4	26,58	25,9	26,9
sem carga	**0**	**0**	8	26,62	26	26,98

ANEXO A – RELATÓRIO DE SONDAGEM – CEL. BARROS

FUNDERS
ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

FUNDERS ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES CREA RS 147478
Rua São Francisco nº 07 Ijuí RS fone 55 3332 4960 3332 1858

CLIENTE:	CHARRUA
OBRA:	DISTRIBUIDORA CHARRUA CORONEL BARROS
LOCAL:	BR 285 KM 477 CORONEL BARROS/RS

SONDAGEM DE RECONHECIMENTO DE SOLOS

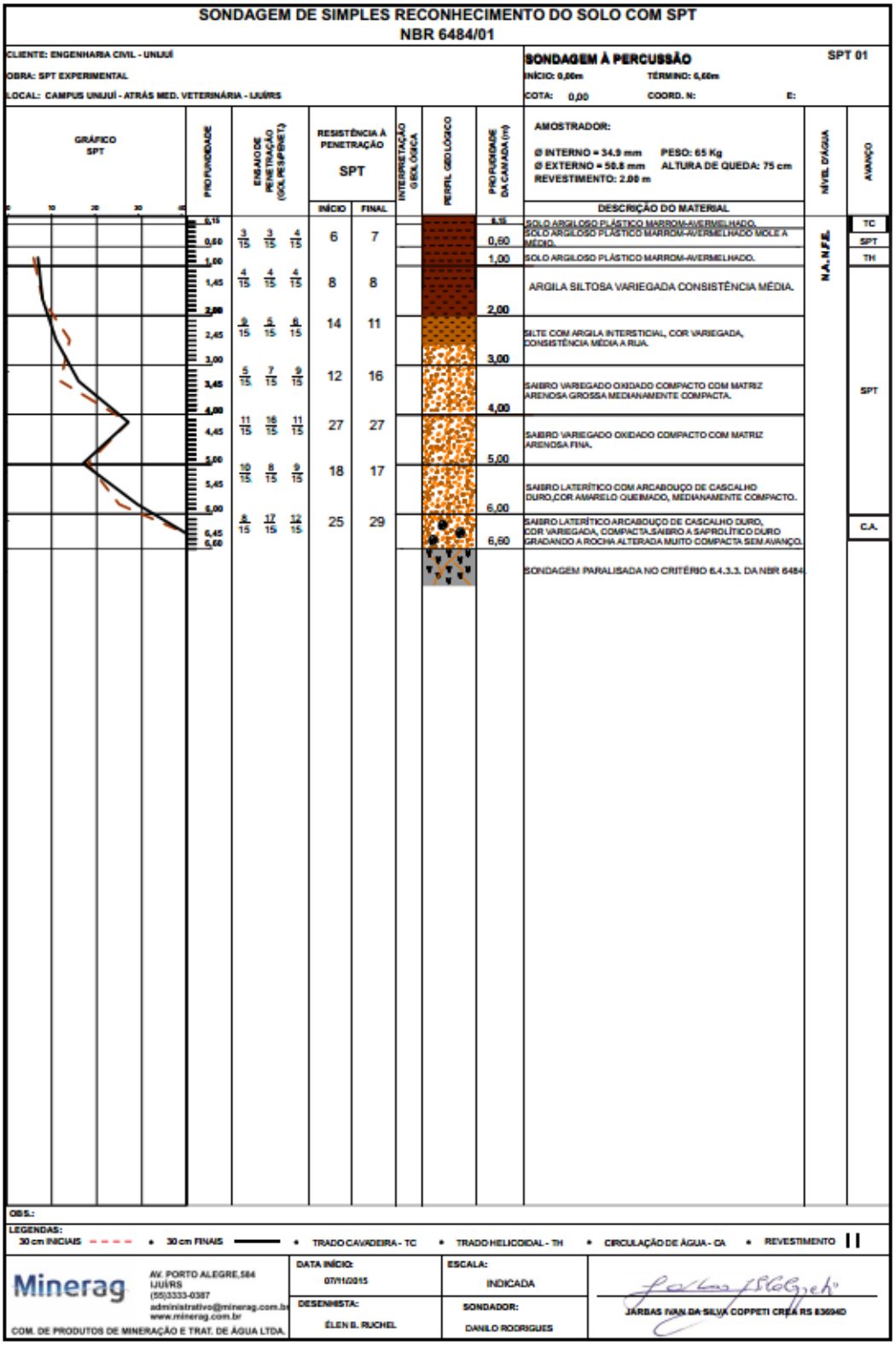
R.N:	100,00	COTA	100,00	FURO:	SP-	1	INICIO	10/02/15	TÉRMINO	10/02/15

ensaio penetração /15	/15	/15	N /30	torque	cota	GRÁFICO 1o 2o 2o 3o torque	Avanço	Revestimento	nível d'água	COTA	convenção das amostras	classificação das amostras
3	5	5	10		1		Profundidade do revestimento 0,00			0		ARGILA MARRON AVERMELHADA COMP. MÉDIA A RIJA
3	5	7	12		2							
3	6	7	13		3							
4	6	7	13		4							4,00
4	6	8	14		5					95		ARGILA MARROM COMP. RIJA
4	7	8	15		6							
5	7	8	15		7							7,92
7	14	17	31		8							SILTE ARENOSO COMP. COMPACTO À MUITO COMPACTO.
18	42		42		9							9,00
					10					90		Sondagem encerrada em 10/02/2015 com 9,00 metros de profundidade, impenetrável a percussão
					11							
					12							
					13							
					14							
					15					85		
					16							
					17							
					18							
					19							
					20					80		
					21							
					22							
					23							
					24							
					25					75		
					26							
					27							
					28							
					29							
					30					70		
					31							
					32							
					33							
					34							
					35					65		
					36							
					37							
					38							

RV	revestimento	CA	circulação água	OBS:	
TC	trado concha	TH	trado helicoidal		

Leitura	Data / Hora	N. A.(m.)	Método	início(m)	Fim (m)	Lavagem por tempo - 10min.	OBS: CAMADA VEGETAL =
						Prof. de início (m)	N. A. 0
1	00/01/1900	0,00	T. Cavadeira	0,00	1,00	Estágio 1 (cm)	REVESTIMENTO
2	00/01/1900	0,00	T. Espiral	1,00	10,00	Estágio 2 (cm)	
3		0	Lavagem	10,00	21,00	Estágio 3 (cm)	

ANEXO B - RELATÓRIO DE SONDAGEM – IJUÍ



SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT
NBR 6484/01

CLIENTE: ENGENHARIA CIVIL - UNIJUÍ
OBRA: SPT EXPERIMENTAL
LOCAL: CAMPUS UNIJUÍ - ATRÁS MED. VETERINÁRIA - IJUÍ/RS

SONDAGEM À PERCUSSÃO — SPT 01
INÍCIO: 0,00m — TÉRMINO: 6,60m
COTA: 0,00 — COORD. N: — E:

AMOSTRADOR:
Ø INTERNO = 34.9 mm — PESO: 65 Kg
Ø EXTERNO = 50.8 mm — ALTURA DE QUEDA: 75 cm
REVESTIMENTO: 2.00 m

PROFUNDIDADE	ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PENET)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT INÍCIO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT FINAL	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
0,15				0,15	SOLO ARGILOSO PLÁSTICO MARROM-AVERMELHADO.	N.A.N.F.E.	TC
0,60	3/15 3/15 4/15	6	7	0,60	SOLO ARGILOSO PLÁSTICO MARROM-AVERMELHADO MOLE A MÉDIO.		SPT
1,00				1,00	SOLO ARGILOSO PLÁSTICO MARROM-AVERMELHADO.		TH
1,45	4/15 4/15 4/15	8	8	2,00	ARGILA SILTOSA VARIEGADA CONSISTÊNCIA MÉDIA.		SPT
2,45	9/15 5/15 6/15	14	11	3,00	SILTE COM ARGILA INTERSTICIAL, COR VARIEGADA, CONSISTÊNCIA MÉDIA A RIJA.		
3,45	5/15 7/15 9/15	12	16	4,00	SAIBRO VARIEGADO OXIDADO COMPACTO COM MATRIZ ARENOSA GROSSA MEDIANAMENTE COMPACTA.		
4,45	11/15 16/15 11/15	27	27	5,00	SAIBRO VARIEGADO OXIDADO COMPACTO COM MATRIZ ARENOSA FINA.		
5,45	10/15 8/15 9/15	18	17	6,00	SAIBRO LATERÍTICO COM ARCABOUÇO DE CASCALHO DURO,COR AMARELO QUEIMADO, MEDIANAMENTE COMPACTO.		
6,45	8/15 17/15 12/15	25	29	6,60	SAIBRO LATERÍTICO ARCABOUÇO DE CASCALHO DURO, COR VARIEGADA, COMPACTA,SAIBRO A SAPROLÍTICO DURO GRADANDO A ROCHA ALTERADA MUITO COMPACTA SEM AVANÇO.		C.A.
6,60					SONDAGEM PARALISADA NO CRITÉRIO 6.4.3.3. DA NBR 6484.		

OBS.:

LEGENDAS: 30 cm INICIAIS — 30 cm FINAIS — TRADO CAVADEIRA - TC — TRADO HELICOIDAL - TH — CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA — REVESTIMENTO

Minerag — COM. DE PRODUTOS DE MINERAÇÃO E TRAT. DE ÁGUA LTDA.
AV. PORTO ALEGRE,584 IJUÍ/RS (55)3333-0387 administrativo@minerag.com.br www.minerag.com.br

DATA INÍCIO: 07/11/2015 — ESCALA: INDICADA
DESENHISTA: ÉLEN B. RUCHEL — SONDADOR: DANILO RODRIGUES
JÁRBAS IVAN DA SILVA COPPETI CREA RS 83694D

ANEXO C - RELATÓRIO DE SONDAGEM – STA. ROSA

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO (SPT)

SONDACON SONDAGENS

Endereço: Rua São Paulo nº153 – Tuparendi/RS –Fone: (55) 9603-3455

CLIENTE: LUCAS DIEGO RISKE
OBRA: Estudo comparativo de ensaios de solo
LOCAL: Prolongamento da Av. América
MUNICÍPIO: Santa Rosa/RS

SONDAGEM: 001 - 05/2015
FOLHAS: 05/05
COTA DO FURO: 8,00 metros

REVESTIMENTO: D = 76,2mm
AMOSTRADOR: Dint = 34,9mm, Dext = 50,8mm
PESO 65Kg - ALTURA DE QUEDA 75cm

COTA REL. RN	REVESTIMENTO	AVANÇO	AMOSTRA	ATRITO LATERAL	NÚMERO DE GOLPES 0 a 30	NÚMERO DE GOLPES 15 a 45	PROFUND.	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
			1		7	9		ARGILA VERMELHA
			2		6	8		
			3		6	9		
			4		0	0		
			5		5	7	-4,60	ALTERAÇÃO DE ROCHA VERMELHA AMARELADA
			6		5	8		
			7		7	11	-6,50	ALTERAÇÃO DE ROCHA VERMELHA ACINZENTADA
			8		8	12		
			9		8	15		
			10		0	0		
			11		0	0		
			12		0	0		
			13		0	0		

GRÁFICO: PENETRAÇÃO 0 A 30cm; PENETRAÇÃO 15 A 45cm; ATRITO LATERAL EM kPa; 10 20 30 40

INÍCIO DE SONDAGEM: 09/05/2015 as 9:35
TÉRMINO DE SONDAGEM: 09/05/2015 as 16:35
NA: Não foi costatado

RELATÓRIO: RS- 001- 05/2015

Santa Rosa- RS, 09 de Maio de 2015.

TIAGO J. GASPARETTO
Tec. Edificações - CREA/RS - 190.241

MARCELO A. DE CONTI
Eng. Civil - CREA/RS - 168.328