



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**  
**Instituto de Geociências e Ciências Exatas**  
**Câmpus de Rio Claro**



**PAULO EDISON MARTINS DA SILVEIRA**

**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO O MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente

**Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis**

**Rio Claro - SP**  
**2020**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro**

**PAULO EDISON MARTINS DA SILVEIRA**

**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS  
APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO O  
MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

**Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente**

**Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis**

**Rio Claro - SP  
2020**

S587p

Silveira, Paulo Edison Martins da

Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em áreas urbanas utilizando o método do detalhamento progressivo / Paulo Edison Martins da Silveira. -- Rio Claro, 2020

243 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. solo colapsível. 2. mapeamento geotécnico. 3. mapeamento progressivo. I. Título.

**PAULO EDISON MARTINS DA SILVEIRA**

**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS  
APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO O  
MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

**Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de  
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Doutor em  
Geociências e Meio Ambiente**

**Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis**

**Prof. Dr. José Eduardo Zaine**

**Prof. Dr. José Carlos Chitolina**

**Dr. Antonio Melhem Saad**

**Prof. Dr. Mario Roberto Barraza Larios**

**Conceito: Aprovado**

**Rio Claro, 05 de junho de 2020**

*A minha esposa Lorilei e meus filhos  
Felipe e Aline.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis, meu amigo e incentivador, pela orientação, confiança em mim depositada, estímulo, além de desafios propostos de melhorias na elaboração deste trabalho.

Aos professores e colegas da EEP/FUMEP- Escola de Engenharia de Piracicaba da Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba pela troca de informações e discussões pertinentes deste trabalho, em especial o Professor Dr. José Carlos Chitolina, diretor acadêmico daquela instituição de ensino, pelo incentivo e que, além disto, autorizou as atividades laboratoriais para o desenvolvimento de nossas pesquisas.

Ao Prof. Dr. Pablo Vital Torrado, da ESALQ/USP- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz da Universidade de São Paulo, pela troca de informações técnicas.

Ao Professor Hélio do Prado, pesquisador do Centro de Cana de Ribeirão Preto, pelo apoio nos serviços de campo relevantes para nossa pesquisa.

Ao Professor Dr. Fernando Portelinha, da UFSCAR-Universidade Federal de São Carlos, pelo apoio e auxílio de atividades laboratoriais naquela instituição de ensino.

Aos técnicos Alan de Oliveira e Reginaldo Natalino Nogueira, do IGCE/UNESP e da ESALQ/USP, respectivamente, pelos serviços de apoio de campo e coleta de amostras, imprescindíveis para as nossas pesquisas.

Aos alunos estagiários e meus amigos Fabio Rodrigues de Lara, Hanif Hussni, Leonardo Augusto Costa da Silva, Stefano Piedade Maniero e Natalia Mariana da Silva da EEP/FUMEP pelo grande auxílio nas atividades de campo e nas atividades laboratoriais da mencionada instituição de ensino.

A ASCOPI- Associação das Empresas Construtoras de Piracicaba e às empresas associadas pelo apoio e autorização para adentrar em suas obras de escavação e fundações.

A empresa RECUPERE ENGENHARIA e a empresa HELIX ENGENHARIA pelo fornecimento de perfis de sondagens executadas no perímetro urbano de Piracicaba.

Ao meu amigo Engenheiro Florestal Mateus Oliveira Ismael pelo apoio no desenvolvimento de atividades de geoprocessamento, que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Aos meus filhos, Engenheiro Ambiental Felipe Trentini da Silveira e Bióloga Aline Trentini da Silveira e a minha nora Engenheira Ambiental Taeana Antonelli da Silveira que dedicaram parcela de seus tempos com discussões técnicas e serviços de revisão, relativos a este trabalho.

A minha esposa Lorilei Trentini da Silveira, companheira e incentivadora deste trabalho e que também colaborou na revisão deste texto.

## RESUMO

O termo colapsividade de solos, utilizado frequentemente, nem sempre é compreendido. Muitos trabalhos tratam deste fenômeno, entretanto poucos são voltados para o planejamento urbano. Este trabalho buscou tratar de procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em áreas urbanas tentando responder qual é a influência da escala de trabalho, quais destes procedimentos de mapeamento geotécnico são mais eficazes e quais são os ensaios laboratoriais mais adequados para a avaliação do fenômeno. A hipótese aqui testada, a fim de estabelecer os referidos procedimentos de cartografia geotécnica para definição da suscetibilidade a ocorrência de solos colapsíveis e priorizar áreas para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados, foi que a avaliação do fenômeno em áreas urbanas poderia ser realizada de forma mais eficiente utilizando-se o método de cartografia geotécnica baseada no detalhamento progressivo de produtos, ensaios e análises. O trabalho teve como objetivos estabelecer procedimentos de elaboração de cartas geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em áreas urbanas utilizando o método do detalhamento progressivo em escalas compatíveis, estabelecer atributos condicionantes à ocorrência de solos colapsíveis e estabelecer os tipos de ensaios geotécnicos para avaliação da ocorrência desses solos que são mais adequados, priorizando setores para estudos detalhados e realização destes ensaios conforme a escala de mapeamento. As atividades executadas nas três etapas da metodologia de detalhamento progressivo foram as seguintes: Primeira etapa: análise de documentações cartográficas topográficas e temáticas, compilação bibliográfica, foteointerpretação, levantamento de campo, realização de ensaios laboratoriais de caracterização, análise de perfis de sondagens geotécnicas, elaboração de carta geotécnica com geração de unidades geológico-geotécnicas, baseadas na integração de algumas informações fisiográficas e resultados dos ensaios geotécnicos, voltadas para a colapsividade de solos em escala 1:50.000 e a escolha de uma zona alvo mais suscetível a ocorrência de solos colapsíveis; Segunda etapa: levantamento de campo complementar da zona alvo, ensaios edométricos realizados para confirmação de ocorrência ao fenômeno da colapsividade e a elaboração de nova carta geotécnica em escala 1:25.000; Terceira etapa: após a escolha de um local adequado para atividades programadas, escavou-se uma trincheira com coleta de amostras indeformadas para novos ensaios edométricos e a execução de um furo de sondagem a percussão com a finalidade de correlacionar os índices de resistência à penetração do solo (N-SPT) e os resultados edométricos. Os resultados apontaram que a metodologia proposta de detalhamento progressivo se mostrou satisfatória para os objetivos almejados abrindo caminho para o desenvolvimento de novos estudos mais detalhados sobre o assunto, diante da complexidade que o fenômeno da colapsividade de solos se apresenta.

**Palavras-chaves:** solo colapsível, mapeamento geotécnico, mapeamento progressivo

## ABSTRACT

The term collapsibility of soils, often used, is not always understood. Many works deal with this phenomenon, but few are focused on urban planning. This work sought to deal with procedures for the elaboration of geotechnical charts applied to collapsible soils in urban areas trying to answer what is the influence of the work scale, which of these geotechnical mapping procedures are more effective and which are the most adequate laboratory tests for the evaluation of the phenomenon. The hypothesis tested here, in order to establish the referred geotechnical cartography procedures of to define the susceptibility to collapsible soils and prioritize areas for the development of further studies, was that the assessment of the phenomenon in urban areas could be performed more efficiently using the geotechnical cartography method based on progressive product detailing, testing and analysis. The objective of this work was to establish a methodology for the elaboration of geotechnical maps applied to collapsible soils in urban areas using the progressive detailing method at compatible scales, to establish conditioning factors for the occurrence of collapsible soils and to establish the types of geotechnical tests to evaluate the occurrence of collapsible soils that are best suited, prioritizing sectors for detailed studies and carrying out these tests according to the mapping scale. The activities carried out in the three stages of the progressive detailing methodology were as follows: First stage: analysis of topographic and thematic cartographic documentation, bibliographic compilation, photointerpretation, field survey, characterization laboratory tests, analysis of geotechnical drilling profiles, elaboration of geotechnical chart with generation of geological-geotechnical units, based on the integration of physiographic information and geotechnical test results, focused on the collapse of soils in 1: 50,000 scale and the choice of a target zone more susceptible to the occurrence of collapsible soils. Second stage: complementary field survey of the target zone, edometric tests performed to confirm the occurrence of the collapse phenomenon and the elaboration of a new geotechnical chart in 1: 25,000 scale; Third stage, after choosing a suitable place for scheduled activities, a trench with undisturbed sample collection was excavated for new edometric tests and the execution of a percussion drill hole in order to correlate the soil penetration index (N-SPT) and the edometric results. The results showed that the proposed methodology of progressive detailing proved to be satisfactory for the desired objectives, paving the way for the development of new more detailed studies on the subject, due to the complexity that the phenomenon of soil collapse presents.

**Keywords:** collapsible soil, geotechnical mapping, progressive mapping

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. PREMISSAS, HIPÓTESE E OBJETIVOS</b> .....	24
<b>2.1. Premissas</b> .....	24
<b>2.2. Hipótese</b> .....	25
<b>2.3. Objetivos</b> .....	25
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	26
<b>3.1. Solos Colapsíveis</b> .....	26
<b>3.2. Critérios Investigativos</b> .....	33
<b>3.3. Ocorrências Regionais de Solos Colapsíveis</b> .....	58
<b>3.4. Consequências Geradas pelo Fenômeno da Colapsividade</b> .....	60
<b>3.5. Recomendações Construtivas em Solos Colapsíveis</b> .....	62
<b>3.6. Critérios de Mapeamento</b> .....	68
<b>3.7. Método do Detalhamento Progressivo</b> .....	83
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	85
<b>4.1. Geologia</b> .....	85
<b>4.1.1. Super Grupo Itararé (CPi)</b> .....	87
<b>4.1.2. Formação Tatuí (Pt)</b> .....	88
<b>4.1.3. Formação Irati (Pi)</b> .....	88
<b>4.1.4. Formação Corumbataí (Pc)</b> .....	88
<b>4.1.5. Formação Pirambóia</b> .....	89
<b>4.1.6. Formação Serra Geral</b> .....	89
<b>4.1.7. Coberturas Correlatas à Formação Rio Claro</b> .....	89
<b>4.1.8. Aluviões</b> .....	90
<b>4.1.9. Aspectos Estruturais</b> .....	91
<b>4.2. Pedologia</b> .....	91
<b>4.3. Geomorfologia</b> .....	96

<b>5. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA .....</b>	<b>99</b>
<b>5.1. 1ª Fase do Estudo: Levantamento Bibliográfico e Organização da Base Cartográfica .....</b>	<b>101</b>
<b>5.2. 2ª Fase de Estudo: Etapa Geral do Detalhamento Progressivo .....</b>	<b>103</b>
<b>5.3. 3ª Fase de Estudo- Aplicação da Etapa Intermediária do detalhamento Progressivo.....</b>	<b>118</b>
<b>5.4. 4ª Fase de Estudo- Aplicação da Etapa de Detalhe .....</b>	<b>121</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>124</b>
<b>6.1. Resultados da Etapa Geral do detalhamento Progressivo .....</b>	<b>124</b>
<b>6.2. Resultados Obtidos na Etapa Intermediária do Detalhamento Progressivo.....</b>	<b>144</b>
<b>6.3. Resultados Obtidos na Etapa de Detalhe .....</b>	<b>162</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>173</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>175</b>
<b>9. RELAÇÃO DE APÊNDICES .....</b>	<b>186</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Locais de ocorrência de solos colapsíveis no Brasil (Modificado de Ferreira et al.,1989).</b> .....	19
<b>Figura 2. Ensaio de compressão edométrica de um solo colapsível (PINTO,2000) ....</b>	27
<b>Figura 3. Estruturas dos solos tipicamente colapsíveis (Popescu,1986) .....</b>	29
<b>Figura 4. Tipos de solos sujeitos ao fenômeno da colapsividade (modificado de Howayec, 2011) .....</b>	30
<b>Figura 5. Critério para distinção entre solos colapsíveis e não colapsíveis (GIBBS; BARA, 1962), modificado por Oliveira (2002) .....</b>	34
<b>Figura 6. Diagrama combinado granulometria vs plasticidade (ANDREI; ATHANASIU, 1979).....</b>	36
<b>Figura 7. Estimativa de grau de colapsividade (Basma et al.,1992) .....</b>	37
<b>Figura 8. Teste “in situ” de carga de placa para verificação do potencial de colapsividade (modificado de Howayec et al.,2011),.....</b>	38
<b>Figura 9. Expanso-colapsômetro (Ferreira e Lacerda,1993, apud Souza Neto, 2004)...</b>	41
<b>Figura 10. Edômetro com controle de sucção baseado na técnica de translação de eixos (Escario, 1967 e 1969).....</b>	42
<b>Figura 11. Peso Específico seco (compactação com energia modificada) versus Limite de Liquidez (Gaaver, 2012) .....</b>	44
<b>Figura 12. Fator de Redução da resistência ao Cisalhamento pela Saturação versus Teor de Umidade Inicial da amostra ensaiada (Gaaver, 2012) .....</b>	44
<b>Figura 13. Índice de Suporte Califórnia versus Limite de Liquidez (Gaaver, 2012).....</b>	45
<b>Figura 14. Carta de identificação de comportamento colapsível (Ayadat; Hanna, 2013) .....</b>	45
<b>Figura 15. Compactação relativa RCn versus desvio do teor de umidade de solos colapsíveis (Vilar e Rorigues, 2015) .....</b>	47
<b>Figura 16. Aparelho Triaxial modificado (Garakani, A. A. et al, 2015).....</b>	49
<b>Figura 17. Expanso-colapsômetro e seus componentes (Louro et al., 2016).....</b>	50
<b>Figura 18: Carta proposta para identificação de solos colapsíveis (Aydat e Hanna, 2012).....</b>	51
<b>Figura 19. Equipamento de Compactação Dinâmica.....</b>	66
<b>Figura 20. Mapa Geológico do Perímetro Urbano de Piracicaba (modificado de DNPM, 1984).....</b>	86
<b>Figura 21. Afloramento da Fm. Corumbataí na estrada do Bongue .....</b>	89

<b>Figura 22. Aspectos estruturais da base da cobertura correlata à Fm. Rio Claro (Rod. Luís de Queiróz km 159).....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 23. Deformações observadas em afloramento da Formação Irati em contato com pequena intrusão de dique de diabásio.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 24. Mapa Pedológico da área urbana de Piracicaba (ESALQ,2019) .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 25. Mapa Geomorfológico da área urbana de Piracicaba (IPT, 1981). .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 26. Fluxograma da metodologia proposta .....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 27. Classificação Textural Simplificada (SiBCS, 2013) .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 28. Carta de plasticidade de Casagrande (PINTO,2000) .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 29. Esquema para classificação unificada de Casagrande (PINTO, 2000) .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 30. Esquema para classificação rodoviária de solos baseado nos índices de consistência (PINTO, 2000).....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 31. Esquema para classificação pelo sistema rodoviário (Pinto,2000).....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 32. Fluxograma para a geração de unidades geológico-geotécnicas da carta geológico-geotécnica aplicada a solos colapsíveis na etapa geral .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 33. Escavação de trincheira de 9,0 metros de profundidade .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 34. Croqui de localização da trincheira e da sondagem realizada. ....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 35. Execução de sondagem a percussão ao lado da escavação.....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 36. Curvas Granulométricas de amostras com alto grau de suscetibilidade ao colapso (preto) e com baixo grau (vermelho). ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 37. Gráficos de Proctor (energia normal) das amostras com alto grau de suscetibilidade ao colapso .....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 38. Perfil de sondagem típico da cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) .....</b>	<b>140</b>
<b>Figura 39. Perfil de sondagem típico da cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), localizado no Bairro Dois Córregos .....</b>	<b>141</b>
<b>Figura 40. Perfil de sondagem típico da cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), localizado no Bairro Água Seca .....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 41. Recalque ocorrido na calçada da Rua Anhumas, 150 no Bº Santa Rita (FOTO: Defesa Civil Piracicaba).....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 42. Recalque na Rua Anhumas, 150 no Bº Santa Rita (sala interna) (FOTO: Defesa Civil Piracicaba).....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 43. Seção topográfica AB .....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 44. Seção topográfica AC. ....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 45. Seção topográfica AD. ....</b>	<b>146</b>

<b>Figura 46. Gráficos de adensamento da amostra P22 (2,00 a 2,50m).</b> .....	154
<b>Figura 47. Gráficos de adensamento da amostra P34 (3,50 a 4,00 m).</b> .....	155
<b>Figura 48. Gráficos de adensamento da amostra P65 (1,00 a 2,00 m).</b> .....	156
<b>Figura 49. Gráficos de adensamento da amostra P81 (1,00 a 1,50 m)</b> .....	157
<b>Figura 50. Perfil de sondagem a percussão executada em local escolhido para a etapa de detalhe.</b> .....	168

## LISTA DE APÊNDICES

<b>APÊNDICE A. Mapa de Localização dos pontos visitados em levantamento de campo e de localização dos furos de sondagem geotécnica executados na área de estudo (etapa geral), escala 1:50.000.....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE B. Síntese das informações geológico geotécnicas de perfis de sondagem geotécnica na área de estudo (etapa geral).....</b>	<b>189</b>
<b>APÊNDICE C. Classificação pedológica e unidades lito-estratigráficas dos pontos mapeados – etapa geral. ....</b>	<b>212</b>
<b>APÊNDICE D. Resultados dos ensaios de caracterização e estudo de compactação de solo – Etapa Geral.....</b>	<b>222</b>
<b>APÊNDICE E – Classificações geotécnicas das amostras de solo ensaiadas na etapa geral.....</b>	<b>225</b>
<b>APÊNDICE F . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da área de estudo (etapa geral), em escala 1:50.000.....</b>	<b>227</b>
<b>APÊNDICE G . Mapa de localização dos pontos visitados em levantamento de campo e localização dos furos de sondagem geotécnica na zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.....</b>	<b>229</b>
<b>APÊNDICE H . Resultados obtidos nos ensaios edométricos da etapa de detalhe.....</b>	<b>231</b>
<b>APÊNDICE I . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.....</b>	<b>242</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1. Ocorrência de colapsividade. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2. Porcentagem de colapsos como indicação de severidade do problema .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3. Classificação dos Índices de Colapso .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4. Características e potencial de colapso de solos da região de Albuquerque-NM .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 5. Principais critérios investigativos para avaliação da colapsividade de solos .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 6. Solos do Estado de São Paulo com características que podem apresentar suscetibilidade ao fenômeno de colapsividade.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabela 7. Atributos para estabelecer Unidade de Terreno (UT).....</b>	<b>71</b>
<b>Tabela 8. Fatores de avaliação do potencial de colapsividade de solos e respectivos pesos de avaliação .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 9. Fatores ambientais para a classificação do potencial de colapso do solo....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 10. Descrição sumária das principais metodologias de mapeamento geotécnico internacionais e brasileiros.....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 11. Trabalhos relacionados aos solos colapsíveis. ....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 12. Coluna estratigráfica – litológica da área urbana de Piracicaba (fonte: DNPM, 1984).....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 13. Classes Pedológicas das unidades de mapeamento do mapa de solos do perímetro urbano de Piracicaba (ESALQ, 2019).....</b>	<b>92</b>
<b>Tabela 14. Formas de relevo presentes na área urbana do município de Piracicaba e suas principais características.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabela 15. Classificação Rodoviária do solo, conforme Norma D 3282 (ASTM, 2004): Standard Practice for Classification of Soils and Soil - Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabela 16. Critérios para avaliação da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade .....</b>	<b>114</b>
<b>Tabela 17- Determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos – etapa geral.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabela 18 - Descrições dos aspectos morfométricos, pedológicos e litológicos das unidades geológico-geotécnicas.....</b>	<b>135</b>
<b>Tabela 19. Características geotécnicas das unidades geológico-geotécnicas.....</b>	<b>136</b>
<b>Tabela 20. - Classificação pedológica e litológica dos pontos de mapeamento – Etapa intermediária.....</b>	<b>148</b>
<b>Tabela 21. Resultados obtidos em ensaio de laboratório – Etapa intermediária.....</b>	<b>151</b>

Tabela 22. Determinação do grau de suscetibilidade- Etapa Intermediária .....	152
Tabela 23. Resultados edométricos de amostras indeformadas – Etapa intermediária .....	153
Tabela 24. Correlação do CBR e o Limite de Liquidez (critério de Gaaver, 2012) .....	158
Tabela 25. Classificações Geotécnicas das Amostras Ensaçadas (Granulométrica; Textural; Unificada; e rodoviária) .....	159
Tabela 26. Critérios estabelecidos para as classes de suscetibilidade ao colapso de solos da Etapa Intermediária .....	161
Tabela 27. Análises granulométricas das amostras coletadas na trincheira e na tradagem– Etapa de detalhe.....	163
Tabela 28. Correlação entre os valores de resistência a penetração do solo N-SPT e os índices de colapsividade IC.....	167

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	33
Equação 2.....	34
Equação 3.....	35
Equação 3.....	39
Equação 5.....	39
Equação 6.....	39
Equação 7.....	46
Equação 8.....	46
Equação 9.....	47
Equação 10.....	47
Equação 11.....	51
Equação 12.....	72

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o período compreendido entre 1960 e 2016, a população brasileira saltou de pouco mais de 41 milhões para mais de 204 milhões de habitantes, segundo dados do IBGE (1960, 2010 e 2016). Se em 1960 a população urbana correspondia a aproximadamente 32% da população total brasileira, hoje este valor supera os 84%, verificado no Censo de 2010. Há previsões de que a população urbana chegue aos 90% até o ano de 2030 (IBGE, 1960, 2010 e 2016).

Para atender suas necessidades em termos de energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, saúde, comunicação etc., o homem é inexoravelmente levado a ocupar e modificar espaços naturais das mais diversas formas, inclusive espaços urbanos. Desta forma, o ser humano passou a ser considerado o mais poderoso agente geológico atuante do planeta. Caso algum desses empreendimentos desconsidere as características dos materiais e processos geológicos naturais, desde a fase de projeto até a implantação e operação dos mesmos, com que vão interferir e interagir, certamente a natureza responde na forma de acidentes localizados ou problemas regionais (SANTOS, 2017).

Uma destas características refere-se ao fenômeno da colapsividade de solo, que pode ser entendido como sendo aquele que, com o teor de umidade natural, ao ser carregado se comprime suavemente e sem variação expressiva de volume, pois resiste ao esforço de compressão entre os grãos. Todavia, este solo ao sofrer um aumento de umidade atingindo um teor crítico, os vínculos de resistência enfraquecem e a estrutura entra em colapso (JENNINGS; KNIGHT, 1957).

Existem diversos problemas relacionados ao uso e ocupação de terrenos em áreas de solos colapsíveis, dentre eles os recalques de terrenos e de fundação decorrentes de colapso do solo e suas consequências mais comuns, como danificação de edificações, de obras de infraestrutura e de leitos viários, que figuram como problemas importantes e cada vez mais frequentes em áreas urbanas e rurais. As condições básicas para um solo ser potencialmente colapsível são encontradas em solos macroporosos e microagregados lateríticos que compõem os solos superficiais, pedologicamente mais desenvolvidos (NAKAZAWA et al., 1995).

O assunto colapsividade de solos vem se tornando frequente em decorrência a inúmeros problemas de recalques e subsidências ocasionados pelo fenômeno em todo Brasil. Desta forma, há necessidade de se buscar metodologias

práticas para a identificação destes solos, quando de sua utilização para o planejamento e desenvolvimento urbano dos municípios.

Ainda que se tenha conhecimento sobre o assunto, os projetos de engenharia dificilmente levam em consideração os efeitos decorrentes causados pelo fenômeno da colapsividade dos solos porosos naturais. O fenômeno é responsável por vários problemas de engenharia que afetam o projeto proposto para certos tipos de empreendimentos como serviços de terraplanagem, canais, cortes de taludes e outros inúmeros tipos de obras (SOTO, 2007).

Teixeira (1993) afirma que os pré-requisitos para a ocorrência do colapso são o índice de vazios elevado e umidade natural inferior à umidade de saturação, sendo que a resistência provisória se dá através de agentes cimentantes e tensões capilares que se desenvolvem com teores de umidade inferiores ao limite de contração, gerando assim pressões neutras negativas como preconizado por Dudley (1970). O mesmo autor cita também que o índice de vazios é decrescente com a profundidade do perfil do solo.

Uma questão surge sobre a ocorrência de solos colapsíveis em relação aos aspectos climáticos, mas vários trabalhos apresentados demonstram que as condições climáticas não parecem ser essenciais para o desencadeamento de formação de solos colapsíveis. A presença de solos colapsíveis é mais frequente em regiões de clima quente seja ele atual ou pretérito. Todavia, sabe-se da existência destes solos em várias partes do mundo e com climas diversos (RODRIGUES; LOLLO, 2008). Como exemplos de ocorrência de solos colapsíveis, podem ser citados os loess da Romênia (POPESCU, 1986); solos colapsíveis na Jordânia (BASMA et al., 1992); os solos eólicos (loess) do Egito (GAAVER, 2012 e AYADAT; HANNA, 2013); areias colapsíveis na Sicília (ERCOLI et al., 2015); solos loessicos na Moldávia (OLYANSKY et al., 2017).

As características e o potencial de colapsividade de solos da região de Albuquerque no Estado do Novo México - EUA foram demonstradas por Lommler e Bandini (2015). Os loess, muito susceptíveis aos fenômenos colapsíveis, ocupam 17% dos EUA, 17% da Europa, partes da China, e presentes ainda na Nova Zelândia e nas regiões planas da Argentina e Uruguai (CLERENCE; FINBARR, 1981).

No Brasil, segundo Rodrigues e Lollo (2008), os solos colapsíveis ocupam grandes áreas das Regiões Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Portanto, pode

se afirmar que os climas quentes e áridos, embora predominantes, não representam condições essenciais para o desenvolvimento de solos colapsíveis. A distribuição destas localidades onde foram analisadas e estudadas ocorrências no Brasil, pode ser observada na **Figura 1**.



**Figura 1. Locais de ocorrência de solos colapsíveis no Brasil (Modificado de Ferreira et al.,1989).**

Outra questão fundamental é a escolha de um método de mapeamento e escala adequados para um trabalho que se propõe a apresentar uma carta de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos em áreas urbanas.

No âmbito da geologia urbana, considera-se o mapeamento geotécnico como uma importante ferramenta que fornece parâmetros para estabelecer mapas de adequação dos terrenos para fins construtivos e para uma expansão urbana de forma segura (EL MAY et al.,2010). Estes autores, em trabalho sobre mapeamento geotécnico no planejamento de expansão urbana em Túnis, capital da Tunísia, citam que a metodologia de mapeamento a ser seguida deve abordar inicialmente as seguintes questões: escolha de uma escala apropriada para o mapeamento, seleção de um método de mapeamento de geologia urbana e compilação de mapas na produção final para efeito de planejamento urbano. A finalidade do mapeamento geológico urbano é reunir e explorar os dados disponíveis da área de estudo. Inclui-

se nela a natureza dos materiais geológicos superficiais, a topografia, rede de drenagem, profundidade do nível de água, propriedades geotécnicas dos materiais e ensaios geotécnicos, além de dados obtidos por sondagens.

A escolha da escala de mapeamento geotécnico depende de alguns critérios: detalhamento do mapa; da área, complexidade, mapas utilizados (geológicos, pedológicos, folhas topográficas) e fotos aéreas (PRICE, 1981). A UNESCO (1996), apud El May (2010), cita mapas de grande escala, ou seja, maiores que 1:10.000, mapas de escala média entre 1:10.000 e 1:100.000 e mapas de pequena escala aqueles menores que 1:100.000.

Uma das técnicas de avaliação de terrenos, sob o ponto de vista geotécnico, foi preconizada por Lollo (1998) para o levantamento das condições do meio físico através de informações anteriores de natureza geológica e geomorfológica, envolvendo produtos de sensores remotos, mapas, além de boletins e relatórios de estudos de prospecção geotécnica e elaboração de base cartográfica; uso de fotos aéreas para avaliação do terreno através de montagem de foto mosaico e procedimentos de análises e interpretações do mesmo para delimitação dos *landforms* presentes na área (sistemas de terrenos, unidades de terreno, e elementos de terreno), caracterização geotécnica das unidades, amostragens, ensaios e elaboração de mapas e documentos relacionados.

A disponibilidade cada vez maior de programas, em particular, de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) mais desenvolvidos, tem permitido a adequação de metodologias, originalmente manuais, às técnicas de cartografia digital, automatizando a entrada e tratamento de dados, resultando em maior facilidade de atualização de informações e em alternativas de representação gráfica mais complexas (OLIVEIRA, 2002).

Cerri et al. (1996) apresenta um modelo de mapeamento geológico-geotécnico denominado “Método do Detalhamento Progressivo”. Este método apresenta três etapas de desenvolvimento dos trabalhos sendo que a primeira (Etapa Geral) apresenta o mapeamento em escala 1:50.000 ou 1:25000 a partir da integração de dados de levantamentos realizados em diferentes escalas e com eventuais complementações; uma segunda etapa (Etapa Intermediária) apresenta um mapeamento em escala 1:25.000 ou 1:10.000 em áreas selecionadas na 1ª etapa; e a terceira etapa (Etapa de Detalhe) que refere-se a um mapeamento em

escala 1:5.000 em locais com concentração de informações correlacionadas a tópicos específicos.

Na análise da eficácia do método de detalhamento progressivo, Zaine (2000) em trabalho de mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo em ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP), conclui que este método mostra boa compatibilidade entre o volume de dados, tipos de informações, tamanho da área e escala de trabalho nas três etapas. O autor assinala que o método evita inferências e generalização de algumas informações quantificadas e de análises laboratoriais para uma escala geral, que podem incorrer em erros também. Segundo este autor, o estudo relacionado às etapas geral e de semi-detelhe permite a indicação do comportamento colapsível do solo e outros aspectos geotécnicos, por meio da correlação de atributos fisiográficos e geotécnicos. Desta forma, o método de detalhamento progressivo, proposto por Cerri et al (1996) e testado por Zaine (2000), é indicado para avaliações geotécnicas em áreas urbanas e obras que necessitem priorizar locais para aplicação de recursos mais detalhados em seu mapeamento, inclusive na identificação aprofundada da suscetibilidade a determinados processos de dinâmica superficial.

Zuquette (1993) propõe o termo “carta geotécnica” para representar os resultados da interpretação dos atributos do meio físico, mais utilizados nos estudos de expansão urbana, em escala maior que 1:100.000 e menor que 1:5.000.

A escala utilizada para o mapeamento geotécnico de Túnis, nos trabalhos de El May et al. (2010) foi de 1:25.000 e segundo os autores, esta escala expressa os parâmetros e permite uma avaliação bem-sucedida para efeito construtivo.

Souza e Sobreira (2015) esclarecem que as cartas de suscetibilidade, em escala 1:25.000 ou maior, apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação e são úteis no planejamento regional, servindo não só para fins de ocupação urbana, mas também para outros usos, pelo menos em uma análise preliminar. São úteis em abordagens mais gerais. Como têm caráter orientador em decorrência da sua escala, as cartas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento.

Em síntese, os problemas causados pelo fenômeno da colapsividade de solos são sérios e merecem ser mais bem avaliados no Brasil. Observa-se que as ocorrências destes solos não são pontuais, mas sim de ocorrência generalizada tanto em termos de abundância como de genética de formação deles. Além disto,

estes problemas são pouco conhecidos pela maioria dos engenheiros civis e mais desconhecidos ainda são os critérios de avaliação do fenômeno.

A cartografia geotécnica e ensaios laboratoriais de caracterização e edométricos mostram serem os instrumentos mais adequados para estes propósitos. A elaboração de uma carta geotécnica dentro do padrão de detalhamento progressivo proposto neste trabalho atende as necessidades metodológicas para a avaliação da suscetibilidade ao fenômeno de colapsividade dos solos em áreas urbanas.

Este trabalho, para efeito da área de estudo, tem como área piloto a cidade de Piracicaba (SP), uma cidade de porte médio, que como outras do Estado de São Paulo, apresenta uma acentuada expansão urbana nos últimos anos, avançando sobre terrenos ainda pouco estudados e com algum potencial ao colapso de solos. Em complemento, a área de estudo escolhida tem uma grande variedade litológica e pedológica, possibilitando que a proposta apresentada neste trabalho possa ser utilizada em outros municípios com condições semelhantes.

A ausência de estudos sobre o fenômeno da colapsividade na região da área de estudo motivaram a realização dessa pesquisa. A crescente expansão urbana faz com que certos empreendimentos sejam instalados em locais onde o solo não é tão conhecido pelos profissionais de fundações. Há de se considerar que, nesta área de estudo, por muito tempo, o perímetro urbano estava restrito a áreas assentadas predominantemente sobre solos da Formação Corumbataí e de diques e sills de diabásio correlatos a Formação Serra Geral e, secundariamente, por solos das Formações Irati e Tatuí e Grupo Itararé, além de depósitos aluvionares.

Atualmente, o perímetro urbano de Piracicaba já contempla em sua direção sul os sedimentos inconsolidados correlatos a Formação Rio Claro. Zaine (2000) aponta comportamento colapsível verificado na cobertura de material inconsolidado da Formação Rio Claro na área urbana de Rio Claro. Assim, pressupõe-se que estes sedimentos possam apresentar uma suscetibilidade ao fenômeno do colapso de solos. Já em direção Oeste, surgem os sedimentos arenosos da Formação Piramboia. Coberturas coluvionares e solos lateríticos também se fazem presentes na área de estudo. Estes materiais, sabidamente, podem apresentar condições para deflagração do fenômeno da colapsividade.

Quando apenas os dados e informações da natureza genérica dos solos colapsíveis são utilizados, a cartografia, no máximo, vai alertar a existência do

fenômeno. Por outro lado, para uma cartografia relacionada à suscetibilidade a ocorrência de solos colapsíveis, há a necessidade de melhorar os métodos de caracterização destes materiais e de seus atributos geotécnicos. Assim, informações advindas da cartografia de solos colapsíveis poderão ser úteis e eficientes no planejamento urbano e na gestão de recursos naturais (LOLLO, 2012).

Portanto, o presente trabalho busca responder as seguintes questões principais:

- Qual a influência da escala de trabalho no mapeamento da suscetibilidade a ocorrência da colapsividade de solos em áreas urbanas?
- Quais procedimentos metodológicos de mapeamento geológico-geotécnico são mais eficazes para a avaliação da suscetibilidade a colapsividade de solos em áreas urbanas?
- Quais são os ensaios laboratoriais mais apropriados para a avaliação do fenômeno da colapsividade dos solos, conforme a escala de trabalho?

O foco da pesquisa foi verificar e demonstrar a eficiência da metodologia do detalhamento progressivo, proposta por Cerri et al. (1996) e testada por Zaine (2000), quando aplicada nos estudos de avaliação ao fenômeno da colapsividade de solos em perímetros urbanos fazendo uso da integralização de informações geológicas, pedológicas, de declividade, hipsométricas e de dados de sondagens geotécnicas executadas na área com a análise de resultados de ensaios laboratoriais para a avaliação da suscetibilidade ao colapso de solos que permitiu a geração de unidades geológico-geotécnicas, em diferentes escalas.

Considerando-se que ensaios laboratoriais de caracterização de solos sejam de simples execução e pouco onerosos, foi proposto neste trabalho que eles fossem realizados na etapa geral do detalhamento progressivo. Da mesma forma, os dados de sondagens geotécnicas realizadas na área de estudo, por terem sido disponibilizadas pelas empresas de construção sem custo, puderam ser utilizados também na etapa geral do referido método.

## 2. PREMISSAS, HIPÓTESE E OBJETIVOS

### 2.1. Premissas

A pesquisa está baseada nas seguintes premissas:

- As escalas de mapeamento geológico-geotécnico são definidas conforme o objetivo do estudo, as fases do projeto e os métodos usados (CERRI, 1993; ZUQUETTE, 1993).
- A escala 1:25.000 consegue exprimir de forma satisfatória os parâmetros geotécnicos necessários para uma avaliação das condições construtivas e de planejamento urbano (ZUQUETTE, 1993; MAY et al., 2010; SOUZA; SOBREIRA, 2015).
- O método de detalhamento progressivo é recomendado em estudos de planejamento territorial e de obras que necessitam priorizar áreas para o aprofundamento no levantamento de dados geológico-geotécnicos, possibilitando melhor eficiência na aplicação de recursos (CERRI et al, 1996; ZAINÉ, 2000).
- A aplicação do método do detalhamento progressivo possibilita a caracterização das unidades geológico-geotécnicas e diagnosticar áreas problemáticas na etapa geral, além de dispor de instrumentos de planejamento urbano. Os documentos gerados na etapa de semi-detelhe também servem à orientação do planejamento urbano, porém, de modo setorizado e direcionado. E na etapa de detalhe, a finalidade é orientar um caso específico, seja obra ou a resolução de um problema geotécnico (ZAINÉ, 2000).
- Critérios investigativos apresentados por diversos autores como Priklonskij (1952); Miheev (1962); FEDA (1966); Andrei e Athanasiu (1979); Zuquette (1993); e Lommler e Bandini (2015) possibilitam a identificação da ocorrência do fenômeno da colapsividade. Os critérios de investigação de solos colapsíveis podem ser divididos em três grupos. Um primeiro baseado em ensaios de caracterização do solo (índices físicos, índices de consistência, aspectos granulométricos e por vezes aspectos de compactação); um segundo grupo baseado em ensaios edométricos (índice de colapsividade, etc.); e um terceiro grupo representado por ensaios de

campo, incluindo aí os ensaios SPT realizados durante as sondagens a percussão, os ensaios de placa, e ensaios executados com utilização de expanso-colapsômetro.

## 2.2. Hipótese

Com a finalidade de estabelecer procedimentos metodológicos de cartografia geológico-geotécnica para definição da suscetibilidade a ocorrência de solos colapsíveis e priorizar áreas para o desenvolvimento de estudos mais aprofundados, incluindo a definição de escalas de trabalhos, técnicas de análise e ensaios geotécnicos laboratoriais e de campo mais adequados, a hipótese a ser testada na presente tese é a seguinte:

***A avaliação da suscetibilidade a ocorrência de solos colapsíveis em áreas urbanas é realizada de forma mais eficiente quando se utiliza método de cartografia geológico-geotécnica baseada no detalhamento progressivo de produtos, ensaios e análises.***

## 2.3. Objetivos

O objetivo principal é de estabelecer procedimentos metodológicos para elaboração de cartas geológico-geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em áreas urbanas utilizando o método do detalhamento progressivo.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Estabelecer atributos naturais ou antrópicos condicionantes a ocorrência de solos colapsíveis em áreas urbanas de clima subtropical.
- Definir e avaliar critérios e procedimentos de mapeamento de solos colapsíveis em diferentes escalas de trabalho com base na metodologia do detalhamento progressivo.
- Estabelecer os tipos de ensaios geotécnicos para avaliação da ocorrência de solos colapsíveis que são mais adequados a serem realizadas conforme a escala de mapeamento.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Solos Colapsíveis

Segundo Jennings e Knight (1957), a estrutura de um solo colapsível ao ser carregada em seu teor de umidade natural, se comprime suavemente, sem variação sensível de volume, resistindo aos esforços de compressão entre os grãos, sem grandes movimentos relacionados entre eles. Porém, quando este solo é umedecido até um teor crítico, os vínculos de resistência enfraquecem e a estrutura entra em colapso.

Define-se o colapso de um solo como sendo o fenômeno causado pela brusca redução de vazios ocasionado pelo aumento de umidade, com presença ou não de sobrecarga. As características dos solos colapsíveis dependem das estruturas que apresentam. Quando estas estruturas são macro porosas, as partículas mais finas conseguem manter uma resistência provisória, pela presença de um vínculo originado por tensões capilares, forças eletromagnéticas de superfície e a presença de substâncias cimentantes, como óxidos de ferro e carbonatos (DUDLEY,1970).

Os solos colapsíveis podem ser entendidos como aqueles que sofrem apreciável redução de volume quando submetidos ao umedecimento, com ou sem carregamento adicional e apresentam as seguintes características: apresentam alto índice de vazios e teor de umidade abaixo daqueles de saturação do solo; apresentam baixo grau de saturação e estruturas macroporosas, cujas partículas maiores são mantidas em suas posições por meio de algum cimento (cimentação e/ou tensão capilar) capaz de propiciar resistência ao solo; solos porosos apresentam macroporos visíveis a olho nu e, geralmente ocorrem em espessas camadas superficiais, evoluídas pedogeneticamente (recobrem os solos residuais típicos, solos sedimentares ou colúvios); são solos muito compressíveis e suscetíveis aos processos erosivos (NAKAZAWA et al., 1995)

Pinto (2002) define solos colapsíveis como aqueles solos não saturados que apresentam uma considerável e rápida compressão quando submetidos a um aumento de umidade sem que varie a tensão total a que estejam submetidos. Segundo este autor, o fenômeno da colapsividade é geralmente estudado por meio de ensaios de compressão edométrica. A **Figura 2** apresenta, esquematicamente, resultados de ensaios realizados com um solo colapsível: a curva A indica o

resultado de um ensaio em que o corpo de prova permanece com seu teor de umidade inicial; a curva B representa o resultado de um ensaio em que o corpo de prova foi previamente saturado; e a curva C o de um corpo de prova inicialmente com sua umidade natural e que, quando na tensão de 150 kPa, foi inundado e redundou em brusca redução do índice de vazios. Assim, o valor do recalque resultante do umedecimento depende do estado de saturação em que o solo se encontra e do estado de tensões a que está submetido. O colapso decorre da destruição dos meniscos capilares, responsáveis pela tensão de sucção, ou a um amolecimento do cimento natural que mantinha as partículas e as agregações de partículas unidas. Fisicamente, o fenômeno do colapso está associado ao da perda de resistência dos solos não saturados. Durante o carregamento axial, a inundação do solo diminui a pressão de sucção ou amolece o cimento natural provocando o colapso. No carregamento edométrico, a diminuição da pressão de sucção ou o amolecimento do cimento natural provocam microrupturas, que se manifestam só pelo recalque em virtude de o solo estar contido no anel do ensaio edométrico. O mesmo ocorre nas encostas do terreno, onde a inundação se manifesta pelos escorregamentos dos taludes; e em terrenos planos onde se apoiam fundações, estando o solo confinado, ocorrem deformações verticais acentuadas.

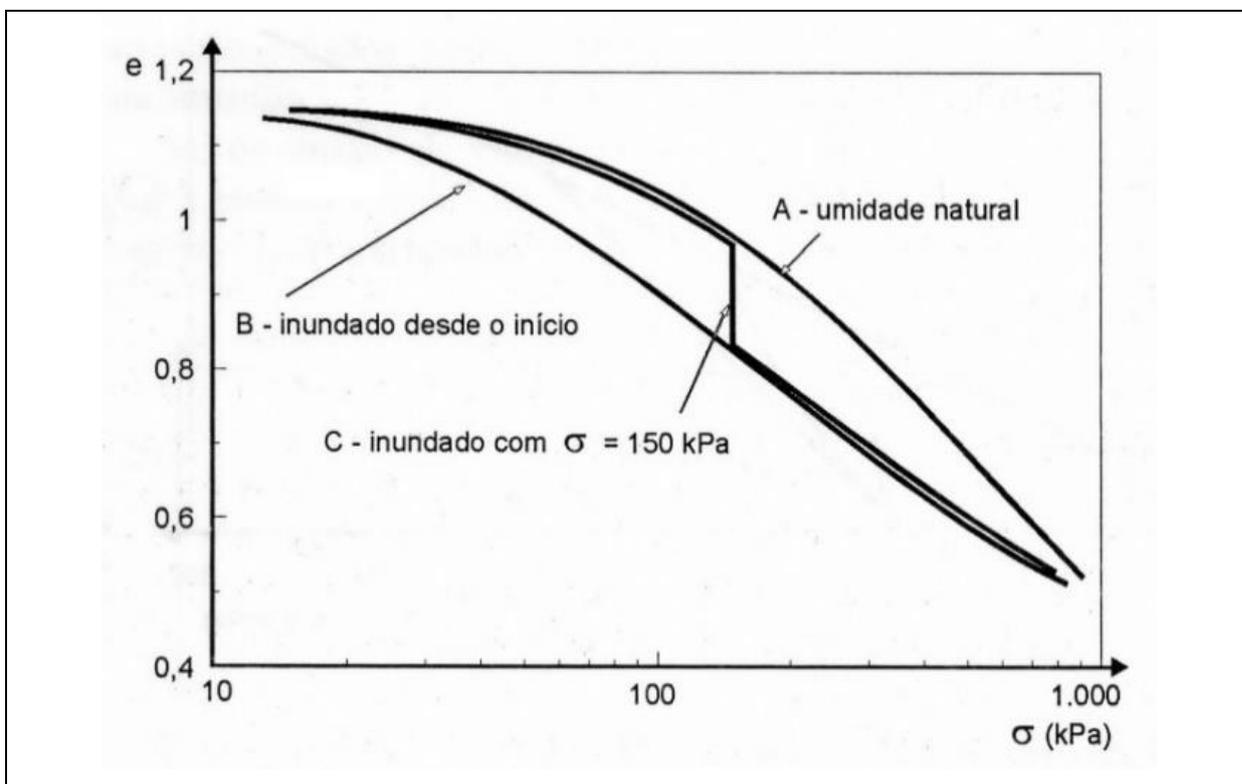
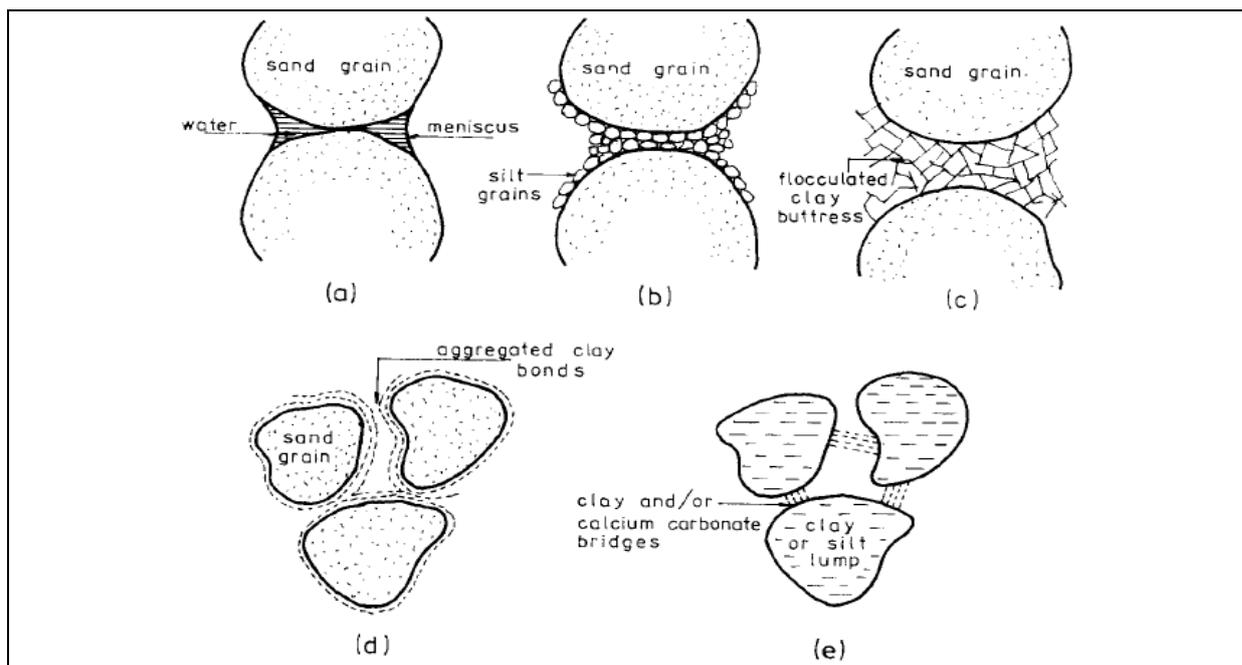


Figura 2. Ensaio de compressão edométrica de um solo colapsível (PINTO,2000)

Os solos colapsíveis podem ocorrer em várias situações genéticas: depósitos eólicos, aluvionares, coluvionares, solos residuais, materiais de escoamento e até de aterros compactados. A formação destes depósitos depende das variações climáticas e do ambiente geológico (DUDLEY,1970 e ARAGÃO; MELO,1982).

Inicialmente, assumia-se que o fenômeno do colapso era restrito aos depósitos eólicos soltos, contudo o fenômeno do colapso já foi identificado em vários solos transportados diferentes, bem como solos residuais. Estudos recentes sugerem que a origem geológica do material desempenha um papel importante no mecanismo de colapso. Brink e Rooy (2015) em trabalho realizado com solos colapsíveis da África do Sul, sugerem que a origem geológica do material desempenhe um papel no comportamento de colapso. Os materiais transportados investigados apresentam maior densidade seca e menor índice de vazios inicial comparados aos materiais residuais. Entretanto, após estes materiais serem submetidos a toda a gama de tensões e umidade, os solos transportados experimentaram uma diminuição ainda maior do índice de vazios em relação ao solo residual em razão da estrutura remanescente destes últimos que cria uma força do material e, em menor grau, a forma de grão dos materiais transportados, permitindo imbricação de grãos sob uma tensão aplicada. Isso implica que um solo residual e um solo transportado com o mesmo índice de vazios inicial não experimentem características semelhantes de colapso.

Popescu (1986) cita, como um bom exemplo de solos colapsíveis, os loess da Romênia. A estrutura deste solo é tipicamente aberta com muitos vazios. A granulometria é constituída por uma variação de grãos arenosos chegando até o tamanho silte, além da presença de concreções carbonáticas de cálcio. A estrutura é relativamente estável por conta de alguns materiais cimentantes tais como óxidos de ferro, carbonáticos e argilosos (**Figura 3**). Além disto, para o caso de areias siltosas, tensões capilares podem garantir certa estabilidade a estrutura do solo (BARDEN et al, 1973). Entretanto, a estabilidade destes solos é reduzida com aumento de umidade, tornando-se propensa ao fenômeno da colapsividade. O aumento do teor de umidade promove um colapso imediato das estruturas mantidas através de tensões capilares, um pouco mais lento para o caso de cimentantes químicos e mais moroso ainda para o caso de cimentantes argilosos (CLEMENCE; FINBARR,1981).



**Figura 3. Estruturas dos solos tipicamente colapsíveis (Popescu,1986)**

Segundo Teixeira (1993), um solo colapsível apresenta uma estrutura meta estável, com baixo grau de saturação e que através de molhagem e/ou carregamento (sobrecarga ou peso próprio) é conduzido a um radical rearranjo das partículas desencadeando uma redução de volume.

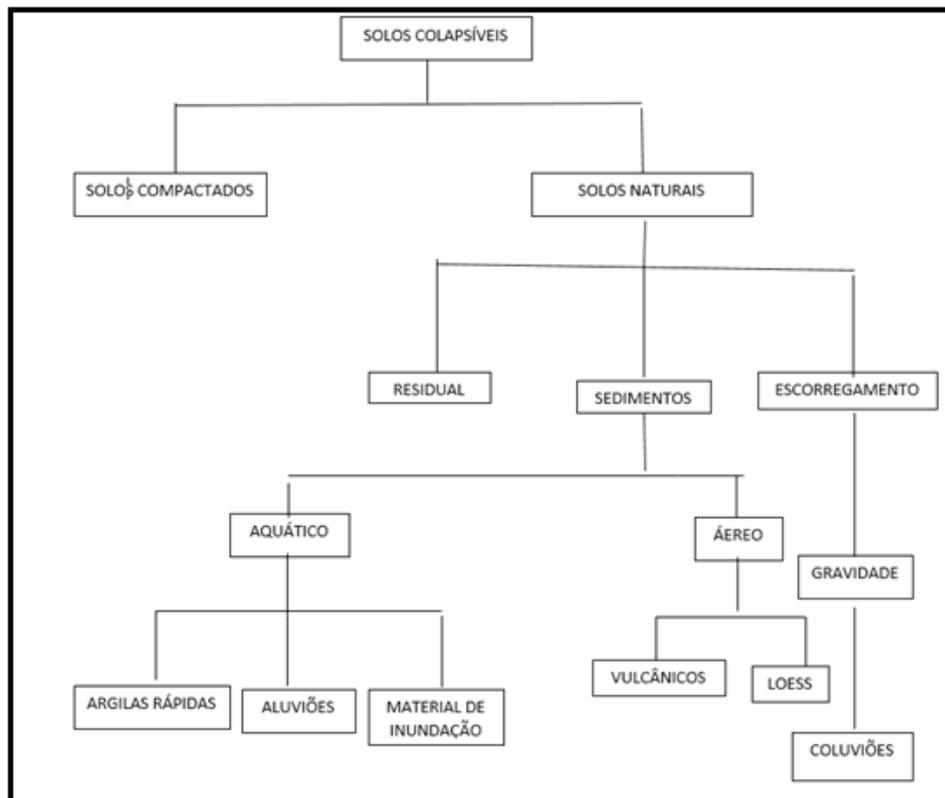
Lollo (2008) cita que os materiais colapsíveis são encontrados em várias partes e países do mundo como África do Sul, Angola, Argentina, Austrália, Brasil, Espanha Estados Unidos, Israel, Quênia, Romênia, dentre outros, porém mais comuns em regiões quentes. No Brasil, estes materiais colapsíveis ocorrem com maior frequência em grande escala das regiões Centro-Sul e Nordeste.

Os solos colapsíveis derivados de loess nas Ardenas flamengas (Bélgica) são propensos à erosão do tipo piping, segundo Verachtert et al. (2010). Neste caso, a macroporosidade destes solos pode conduzir a água para uma rede de tubulação subterrânea e, eventualmente, provocar um colapso do solo e o desenvolvimento de grotas. Os efeitos de piping aumentam consideravelmente em colinas com gradientes superiores a 8% e com perfil côncavo do relevo em função da concentração do fluxo subterrâneo.

Benatti (2010) esclarece que os solos tropicais apresentam peculiaridades diferentes dos solos de clima temperado. As condições climáticas das regiões tropicais levam à formação de solos lateríticos, caracterizados em sua formação pela intensa migração de partículas sob a ação de infiltração e evaporações, dando

origem a um horizonte superficial poroso, permanecendo basicamente os minerais mais estáveis – quartzo, magnetita, ilmenita e caulinita. Nesses solos, é comum a agregação das partículas finas pela ação dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio o que dá aos solos lateríticos características e comportamentos mecânicos e hidráulicos não condizentes com sua textura.

Howayec et al. (2011) cita que são vários os tipos de solos sujeitos ao fenômeno da colapsividade, tais como os apresentados na **Figura 4**.



**Figura 4. Tipos de solos sujeitos ao fenômeno da colapsividade (modificado de Howayec, 2011)**

Lollo (2012) correlaciona os aspectos texturais dos solos colapsíveis de acordo com os processos intempéricos atuantes e materiais de origem. Assim, solos residuais colapsíveis originados a partir de rochas sedimentares químicas e detríticas finas e de rochas ígneas básicas tendem a possuir textura mais argilosa. Por outro lado, aqueles originados a partir de rochas sedimentares mais grosseiras e rochas ígneas ácidas tendem a possuir textura mais arenosa. No caso de materiais colapsíveis de origem fluvial e eólica estes tendem a possuir textura predominantemente arenosa.

Em trabalho de revisão da metodologia utilizada para avaliação de solos colapsíveis, Vilar e Rodrigues (2015) realizaram uma compilação de resultados laboratoriais deste tipo de solo de vários locais. Observa-se nesta compilação, que apesar do predomínio de um ou de outro, existem solos colapsíveis que contemplam a maioria dos tipos de acordo com a classificação Unificada de Casagrande:

- ML= 29,6%
- CL=19,4%
- SC= 13,3%
- SM=12,2%
- MH= 7,1%
- SM-SC= 5,1%
- CH= 4,1%
- SP-SM= 2,0%
- SP= 2,0%
- CL-ML= 2,0%
- OUTROS=3,2%

Como observado na **Tabela 1**, que sintetiza os enunciados descritos, o reconhecimento de um solo colapsível é bastante complexo. Não há possibilidade de se afirmar que um solo é colapsível apenas pela sua textura ou estrutura ou ainda pela sua gênese, tão menos pelos aspectos climáticos. Daí a razão na busca de ensaios laboratoriais e de ensaios realizados *in situ* cujas análises possam refletir uma fidelidade na avaliação do fenômeno da colapsividade.

Tabela 1. Ocorrência de colapsividade.

QUANTO A GÊNESE	QUANTO AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	QUANTO AO CLIMA	QUANTO AS REGIOES DE OCORRÊNCIA
Depósitos Eólicos <sup>(1) (2) (4)</sup>	Porosidade Alta <sup>(6) (8)</sup>	Frequentes em Clima Quente <sup>(14)</sup>	Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste <sup>(14)</sup>
Depósitos Aluvionares <sup>(1) (2) (3)</sup>	Cimentação Fraca <sup>(7) (4) (9)</sup>	Climas Diversos <sup>(14)</sup>	Africa do Sul <sup>(3) (15)</sup> ; Angola <sup>(15)</sup> ; Quênia <sup>(15)</sup>
Depósitos Coluvionares <sup>(1) (2) (3)</sup>	Material Inconsolidado <sup>(10)</sup>	Clima Tropical <sup>(16)</sup>	Romênia <sup>(4) (15)</sup> ; Espanha <sup>(15)</sup> ; Bélgica <sup>(13)</sup> ; Sicília <sup>(20)</sup>
Solos Residuais <sup>(1) (2) (12)</sup>	Índice de Vazios Elevados <sup>(5) (8)</sup>	Clima Temperado <sup>(22) (15) (9)</sup>	EUA <sup>(9) (23) (15)</sup>
Materiais de Escoamento <sup>(1) (2)</sup>	Umidade natural inferior a umidade de saturação <sup>(5) (8)</sup>		Argentina <sup>(15)</sup> ; Uruguai <sup>(9)</sup>
Aterros Compactados <sup>(1) (2)</sup>			Austrália <sup>(15)</sup> Nova Zelândia <sup>(9)</sup>
Solos Lateríticos <sup>(12)</sup>			Israel <sup>(15)</sup> ; Jordânia <sup>(17)</sup> ; Irã <sup>(24)</sup> ; Moldávia <sup>(21)</sup> ; China <sup>(9)</sup>
(1) DUDLEY (1970)	(9) CLERENCE; FINBARR (1981)	(17) BASMA et al. (1992)	
(2) ARAGÃO; MELO (1982)	(10) ZAINI (2000)	(18) GAAVER (2012)	
(3) BRINK; ROOY (2015)	(11) BENATTI (2010)	(19) AYADAT; HANNA (2013)	
(4) POPESCU (1986)	(12) LOLLO (2012)	(20) ERCOLI et al. (2015)	
(5) TEIXEIRA (1993)	(13) VERACHTERT et al. (2010)	(21) OLYANSKY et al. (2017)	
(6) SOTO (2007)	(14) RODRIGUES; LOLLO (2008)	(22) FERREIRA et al. (1989)	
(7) JENNINGS; KNIGHT (1957)	(15) LOLLO (2007)	(23) LOMMELER; BANDINI (2015)	
(8) NAKAZAWA et al. (1995)	(16) BENATTI (2010)	(24) GARAKANI et al. (2015)	

### 3.2. Critérios Investigativos

Vários autores apresentam critérios investigativos para a identificação de solos colapsíveis tanto em nível global como em situações brasileiras. A seguir são apresentados os mais pertinentes ao trabalho.

Em relação aos mecanismos de formação de solos colapsíveis, Denisov (1951), tomando como base o índice de vazios no limite de liquidez, esclarece que os solos colapsíveis apresentam valores entre 0,87 e 1,3.

Um critério bastante simples para identificação de solos colapsíveis, pelo menos para efeito de avaliação, foi apresentado por Priklonskij (1952), apud Lollo (2008), em que define um coeficiente ( $K_d$ ) em função dos limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) e do teor de umidade natural. O coeficiente é determinado pela seguinte equação:

$$K_d = (LL - W_o) / (LL - LP), \text{ onde:} \quad \text{Equação 1}$$

LL= Limite de liquidez,

LP= Limite de plasticidade, e

$W_o$ = Teor de umidade inicial.

Para:

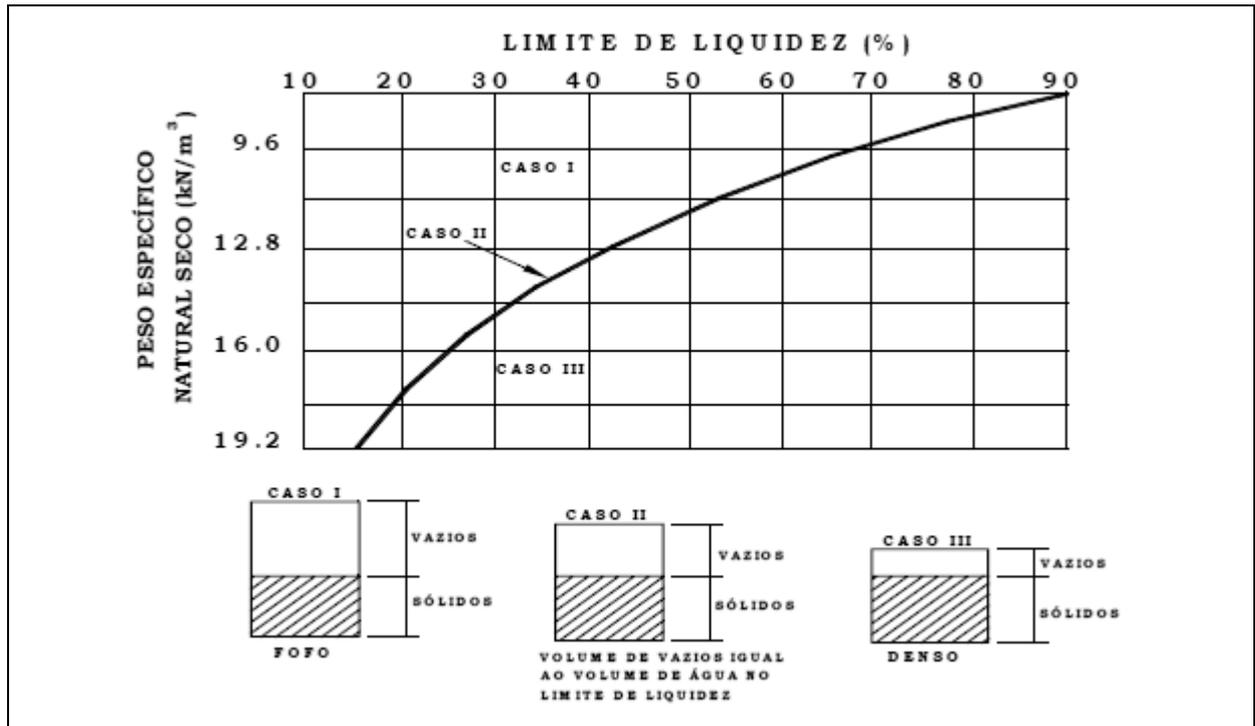
$K_d < 0,0 \Rightarrow$  Solos altamente colapsíveis

$K_d \geq 0,5 \Rightarrow$  Solos não colapsíveis

$K_d > 1,0 \Rightarrow$  Solos expansivos

Miheev (1962), apud Gibbs e Bara (1967) afirma que um solo apresenta alta colapsividade com índice de vazios superior a 0,5 com um grau de saturação inferior a 0,6. De forma indireta, uma avaliação da colapsividade pode ser obtida realizando correlações entre as massas específicas seca e dos sólidos do solo.

Gibbs e Bara (1962) propuseram a utilização da massa específica natural seca e o limite de liquidez como critério para prognosticar o fenômeno da colapsividade de um solo sob efeito de saturação. O método consiste na premissa que o solo deva conter porosidade suficiente para saturação que corresponda ao teor crítico. Solos plotados acima da linha denotada da **Figura 5** são considerados susceptíveis ao colapso das estruturas quando totalmente saturados e apresentam um teor de umidade maior que o limite de liquidez. Este critério aplica-se para solos pouco consolidados e com limite de liquidez superior a 20%.



**Figura 5. Critério para distinção entre solos colapsíveis e não colapsíveis (GIBBS; BARA, 1962), modificado por Oliveira (2002)**

FEDA (1966), apud Lollo (2008), definiu a expressão que prevê o colapso de solos parcialmente saturados, através da equação:

$K = [(W_0/G) - LP] / (LL - LP)$ , onde:

**Equação 2**

$W_0$  = umidade natural,

$G$  = grau de saturação natural,

$LL$  = Limite de liquidez e,

$LP$  = Limite de plasticidade.

Os “solos parcialmente saturados”, com valores de  $K > 0,85$ , devem ser chamados de solos “subsidentes”, e os “solos parcialmente saturados” com  $G < 60\%$  “de solos “colapsíveis, quando saturados”.

Dudley (1970) ressalta que a perda de resistência ao colapso se inicia quando o solo atinge de 50 a 60% de saturação.

A porcentagem de colapsos obtidos em amostras submetidas a ensaios de compressão na tensão de 200 kPa e saturação de água, pode servir como guia de classes de severidade da colapsividade, conforme demonstrado por Jennings e Knight (1975) na **Tabela 2**.

**Tabela 2. Porcentagem de colapsos como indicação de severidade do problema**

<b>Colapso (%)</b>	<b>Severidade do problema</b>
0 - 1	Sem problema
1 - 5	Problemas moderados
5 - 10	Problemático
10 - 20	Problemas severos
> 20	Problemas muito severos

**Fonte: Jennings e Knight (1975)**

Vargas (1978) propõe como critério para a avaliação do comportamento colapsível de um solo a determinação de um coeficiente de colapso (*i*) dado pela expressão:

$$i = (\Delta e) / (1 + e_{pn}), \text{ onde}$$

**Equação 3**

$\Delta e$  = variação de índice de vazios, devido a inundação e

$e_{pn}$  = índice de vazios, antes da inundação, sob a ação de uma determinada tensão. Se *i* superar os 02%, o solo pode ser considerado colapsível.

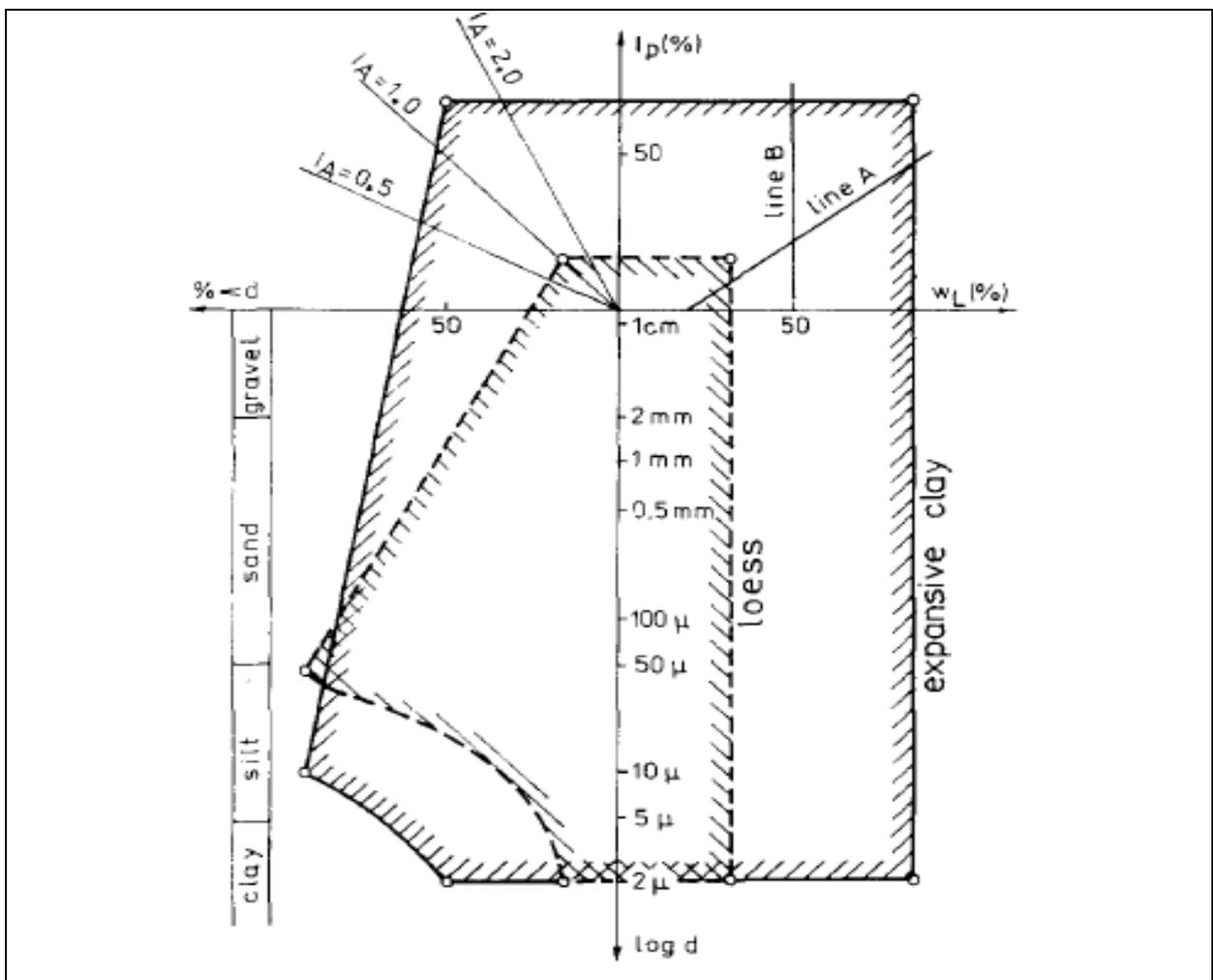
Vilar (1979) estudando os solos de São Carlos- SP, adotou, para identificação de solos colapsíveis, os critérios de índices físicos e propriedades índices e critérios segundo a metodologia para quantificação dos recalques por colapso provocados por inundação do solo. Os primeiros são baseados no conceito geral de saturação do solo no teor de umidade correspondente ao limite de liquidez proposto por Denisov, 1951; Priklonskij, 1952; e Gibbs; Bara, 1967). Os demais são baseados em ensaios edométricos preconizados por Jennings e Knight (1957); e Reginatto e Ferrero (1973).

Segundo Vilar et al. (1981), o critério mais confiável para a identificação do comportamento colapsível de um solo é a realização de ensaios de adensamento.

A influência da molhagem do solo na compressibilidade foi analisada por Nogueira et al. (1985), realizando ensaio de placa em solos da região de São Carlos- SP. Verificou que para pressões inferiores a 80 kPa, os recalques registrados no solo inundado foram menores que os ocorridos na condição de solo

natural (da ordem de 75%). Para pressões superiores a 80 kPa, os recalques registrados durante a inundação alcançaram 50% dos recalques totais durante o ensaio.

As características granulométricas e dados de plasticidade podem fornecer uma identificação preliminar de colapsividade e expansibilidade dos solos, tais como o loess (POPESCU,1986) de acordo com o diagrama de Andrei e Athanasiu (1979) que consiste no cruzamento de características granulares e dados de plasticidade de um solo (**Figura 6**).



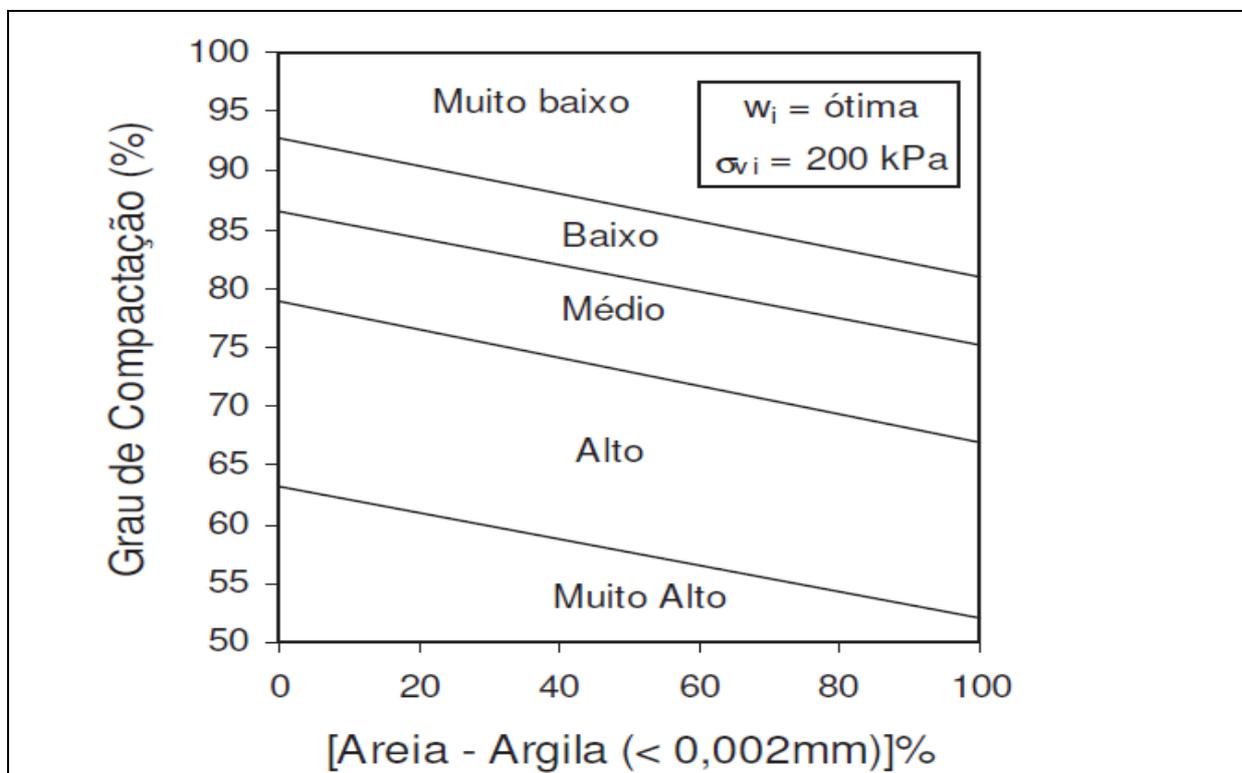
**Figura 6. Diagrama combinado granulometria vs plasticidade (ANDREI; ATHANASIU, 1979)**

Teixeira (1993) afirma que os pré-requisitos para a instalação do colapso são o índice elevado de vazios e umidade natural inferior à umidade de saturação, sendo que a resistência provisória se dá através de agentes cimentantes e tensões

capilares que se desenvolvem com teores de umidade inferiores ao limite de contração, gerando assim pressões neutras negativas como preconizado por Dudley (1970). O mesmo autor cita, ainda, que o índice de vazios é decrescente com a profundidade do perfil do solo.

Fazendo uso de microscópio eletrônico, Neves (1987) introduz um novo processo para investigar a colapsividade dos solos da região de São Carlos observando que os agentes cimentantes são constituídos por partículas de silte e argila ou então por óxidos e sesquióxidos de ferro. Observou ainda que a inundação produz um novo arranjo estrutural e um bloqueio de canalículos. Níveis de tensão superiores a 50 kPa são significativos nas reduções de volume.

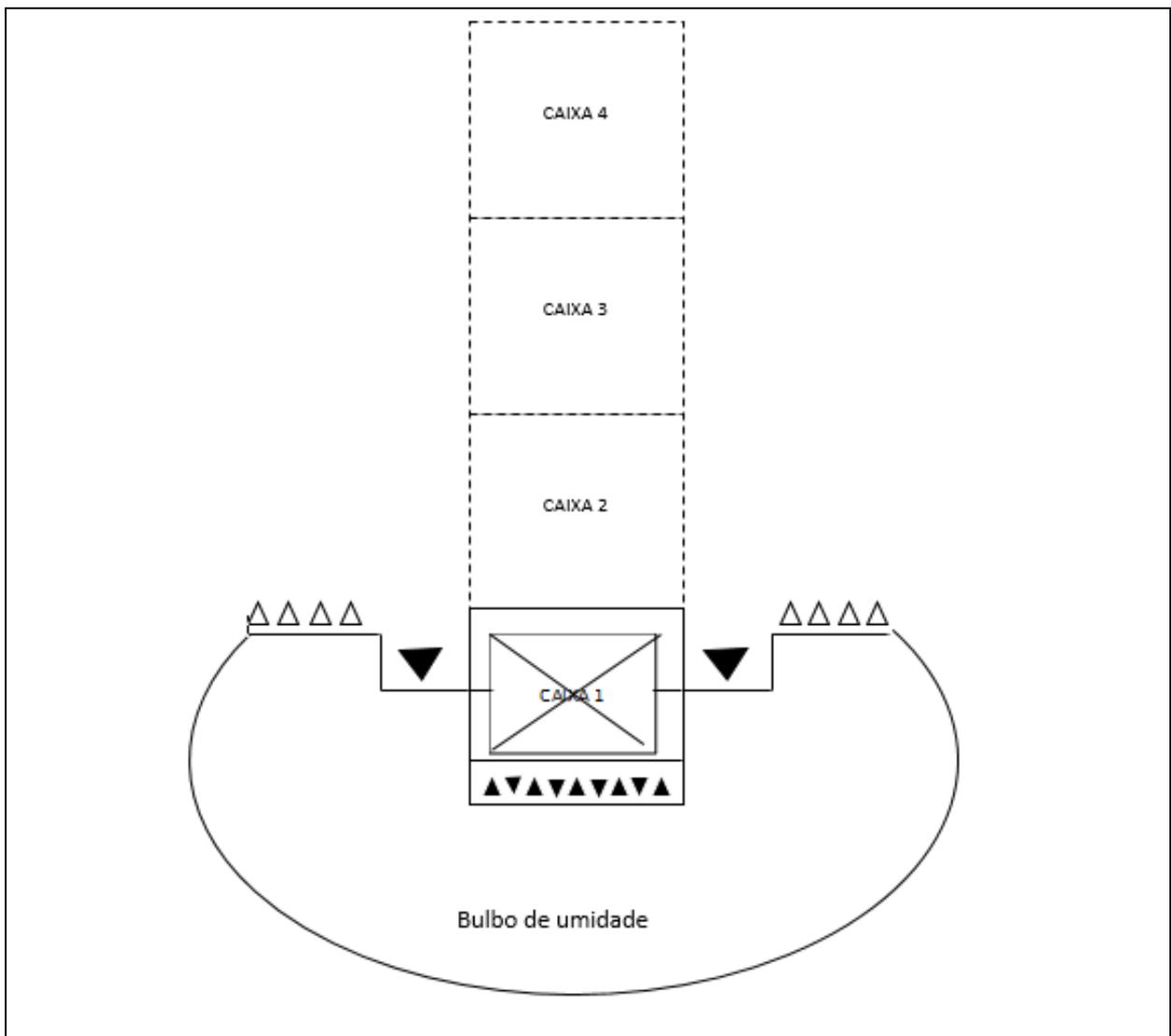
Estudando solos colapsíveis na Jordânia, Basma et al. (1992) apresentaram, através de retro análises de solos compactados e submetidos a ensaios edométricos em laboratório, uma maneira de classificar os solos em graus de colapsividade baseada principalmente na diferença entre os teores de areia e argila conforme apresentado na **Figura 7**. Concluíram ainda que solos bem graduados tendem a ser mais colapsíveis.



**Figura 7. Estimativa de grau de colapsividade (Basma et al.,1992)**

A determinação do comportamento colapsível, de forma empírica, foi sugerida por Zuquette (1993) através da relação entre a massa específica natural de um solo e massa específica máxima seca obtida através de ensaio de compactação (energia normal) do mesmo solo. O autor considera que se o valor obtido desta relação for inferior a 80%, o solo apresenta comportamento colapsível.

Mahmoud e Houston et al. (1995), apud Howayec et al. (2011), propuseram um método de colapso “in situ” através da colocação de caixas de solo sobre uma base de concreto dentro de uma área escavada. As caixas vão sendo dispostas até a obtenção de uma sobrecarga desejada e em seguida o solo é saturado através da escavação conforme a **Figura 8**. Contudo, este método é limitado a uma profundidade máxima de dois a três metros.



**Figura 8.** Teste “in situ” de carga de placa para verificação do potencial de colapsividade (modificado de Howayec et al.,2011),

O potencial de colapsividade de um solo pode ser avaliado através do método desenvolvido preconizado na norma técnica D 5353 (ASTM, 2003). Este método contempla a determinação do potencial de colapso de uma amostra de solo não saturada quando passa para uma situação de saturação ao ser submetida a um esforço vertical axial unidimensional. O método mostra que solos colapsíveis sofrem uma diminuição de altura quando confinados e seguidos de saturação sob uma tensão vertical aplicada de forma constante. O índice de colapso ( $I_c$  = percentual de potencial relativo ao colapso determinado a 200 kPa) é calculado através da equação:

$$I_c = [(d_f - d_i)/h_0] 100 (\%) \quad \text{Equação 4}$$

onde:

$d$  = leitura do mostrador (mm),

$d_o$  = leitura ao stress do adensamento (mm),

$h_o$  = altura inicial da amostra (mm),

$d_f$  = leitura ao estresse após saturado (mm),

$d_i$  = leitura ao estresse não saturado (mm),

$(d_f - d_o) / h_o$  = tensão no nível saturado, e

$(d_i - d_o) / h_o$  = tensão no nível pré-saturação.

Esta equação pode ser reescrita em termos de vazios:

$$I_c = [(\Delta_e / 1 + e_o)] 100 (\%) \quad \text{Equação 5}$$

onde:

$\Delta_e$  = Variação do índice de vazios resultante da saturação, e

$e_o$  = índice de vazio inicial, ou, uma vez que o teste é conduzido como um

teste unidimensional:

$$I_c = (\Delta_h / h_o) 100 (\%) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\Delta_h$  = mudança na altura da amostra, resultante da saturação (mm), e

$h_o$  = altura inicial da amostra (mm).

O método consiste em colocar uma amostra de solo com teor de umidade natural em um aparelho edométrico para ser submetido a uma predeterminada tensão vertical seguida de uma saturação induzindo a amostra ao colapso. O potencial de colapso,  $I_c$ , é usado para avaliar o que pode ocorrer em uma camada

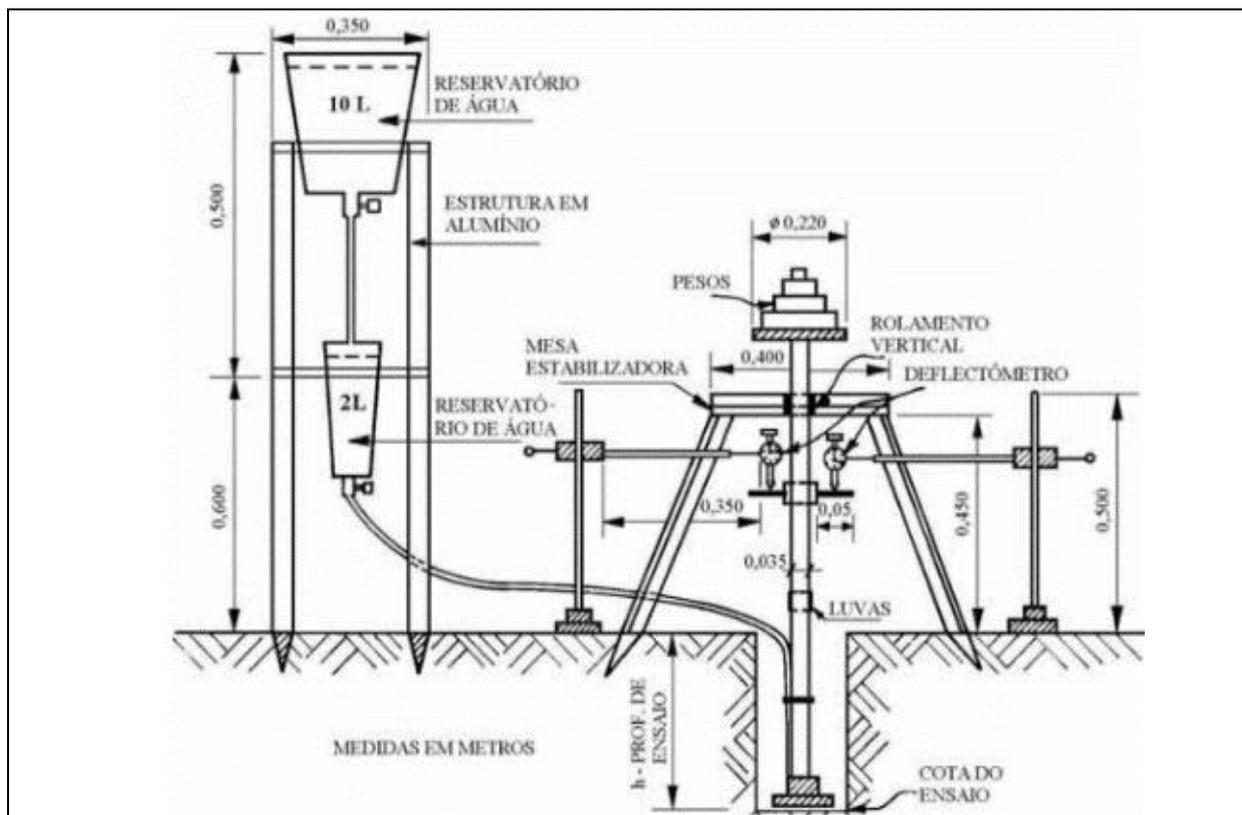
de solo de determinado local. Procedimentos para estimar o potencial de colapso são incertos porque nenhum critério único pode ser aplicado a todos os solos colapsíveis. Por exemplo, alguns solos podem se expandir após a saturação da amostra. Este método pode ser usado para determinar o potencial de colapso,  $I_c$ , do solo em uma determinada tensão ou em uma tensão vertical aplicada de 200 kPa. O  $I_c$  adotado será o menor estresse vertical aplicado assumindo que o solo não sofra expansão (**Tabela 3**).

**Tabela 3. Classificação dos Índices de Colapso**

Grau de colapsividade	Índice de colapso $I_c$ (%)
Nulo	0
Leve	0,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 6,0
Moderadamente Severo	6,1 a 10,0
Severo	> 10,0

**Fonte: D 5353 (ASTM, 2003)**

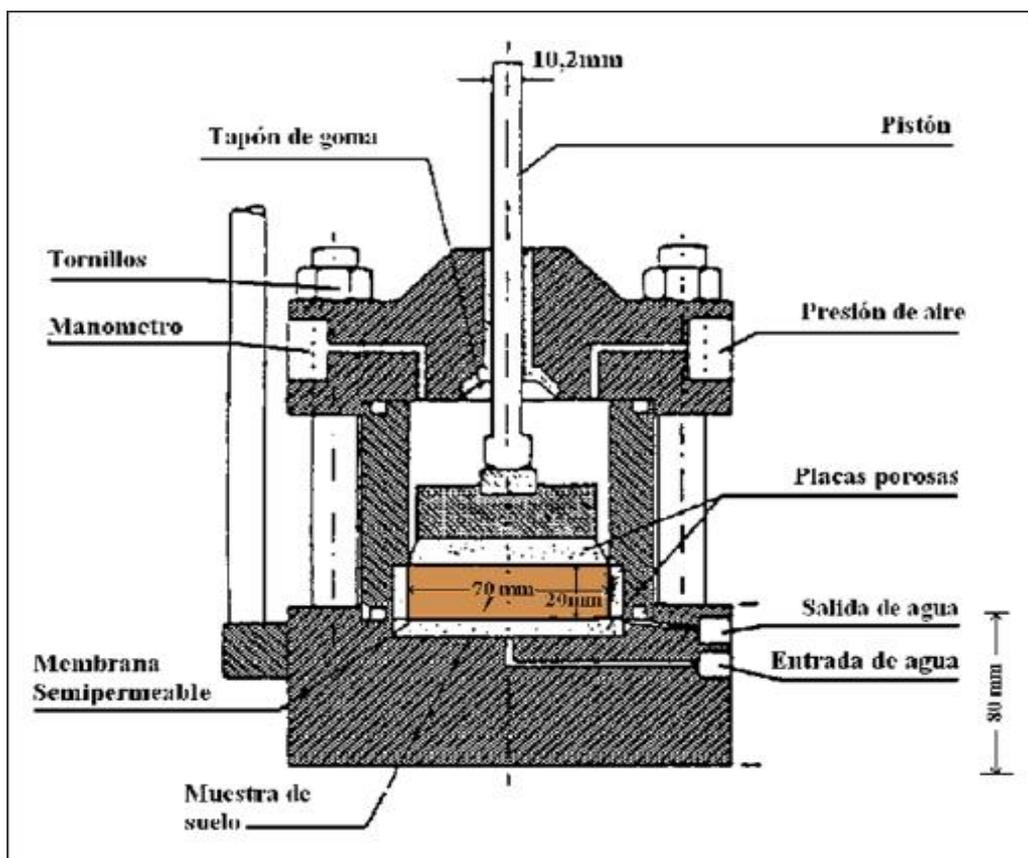
Souza Neto (2004) apresenta um estudo que envolve ensaios de campo e de laboratório com o objetivo de avaliar o comportamento de solos colapsíveis quando umedecidos. Os ensaios realizados em campo foram SPT-T (Standard Penetration Test- Torque); ensaio de permeabilidade; prova de carga em placa; e ensaio de colapso através do expanso-colapsômetro (**Figura 9**). Os resultados obtidos mostraram que os recalques tendem a se concentrar na metade superior do bulbo de tensões. O autor cita que o equipamento denominado expanso-colapsômetro, modelo adaptado de Ferreira e Lacerda (1993), apud Souza Neto (2004), mostrou ser uma ferramenta promissora na identificação e previsão de recalques de colapso de uma fundação superficial.



**Figura 9. Expanso-colapsômetro (Ferreira e Lacerda,1993, apud Souza Neto, 2004)**

A avaliação e identificação das estruturas do solo podem ser realizadas através de ensaios químicos, difração de raios X e microscópio eletrônico. Outros ensaios de laboratório são realizados com a utilização de edômetros, que permitem uma previsão de deformação resultante do colapso estrutural do solo além verificar parâmetros qualitativos do grau de colapso. Existem duas modalidades de procedimentos para estes ensaios. A primeira modalidade consiste no ensaio edométrico simples realizado com amostra de solo saturada para uma determinada tensão de interesse. Já a segunda modalidade consiste em um ensaio edométrico duplo, realizado com duas amostras, sendo uma na umidade natural e outra saturada no início do ensaio. A medição dos parâmetros ou variáveis do estado de tensões dos solos não saturados requerem um equipamento que permita um controle de pressões atmosférica, da água e da tensão total. Diversos equipamentos de compressão confinada e triaxiais com controle de sucção têm sido desenvolvidos através de diferentes métodos e técnicas com a finalidade de analisar a deformabilidade dos solos não saturados. Uma das técnicas adaptadas aos equipamentos de compressão confinada trata-se do edômetro baseado na técnica de translação de eixos (**Figura 10**). Este equipamento consiste em uma célula

provida de uma placa porosa, membrana semipermeável para sucções compreendidas no intervalo de 1.500 e 10.000 kPa, de um pistão vertical capaz de aplicar tensões normais e que permita a medição das deformações volumétricas da amostra de solo ensaiada. O edômetro pode ser montado em uma prensa de adensamento (SOTO, 2007).



**Figura 10. Edômetro com controle de sucção baseado na técnica de translação de eixos (Escario, 1967 e 1969)**

O mesmo autor, submeteu dois tipos de solo aos ensaios edométricos acima expostos. O primeiro trata-se de um solo areno- argiloso compactado retirado do Campus II da Escola de Engenharia de São Carlos- USP e composto por sedimentos colúvio-aluvionares cenozoicos. Estes sedimentos apresentam características lateríticas com estruturas porosas e colapsíveis. Já o segundo solo refere-se a um solo siltoso também compactado. Os ensaios foram realizados com a utilização de edômetros convencional e com controle de sucção. Os ensaios realizados com os edômetros permitiram evidenciar que a magnitude da deformação dos solos depende, entre outros fatores, do grau de saturação deles. Desta forma, pode-se observar como os solos podem ser mais deformados com o aumento de

umidade devido a ação desencadeadora de alteração do estado de tensões por redução da sucção existente tornando o solo menos rígido. O colapso do solo arenoso não só depende da variação do estado de tensão devido ao umedecimento, mas também em função da estrutura macroporosa altamente instável. O autor esclarece que apesar de existirem situações em que as deformações são produzidas em situações mais críticas ou de saturação, fica evidente que existem deformações causadas por acréscimo de umidade sem, contudo, atingir a saturação completa. Podem ocorrer deformações diferenciais, afundamento de estruturas etc., cujas análises não deveriam ser negligenciadas pelos profissionais da área.

Testes realizados por Mendes e Lorandi (2008), estudando as variações de N-SPT (índice de resistência à penetração do solo obtidos nos ensaios SPT) em função da oscilação do nível d'água na área central da cidade São José do Rio Preto-SP, sugeriram que a causa da variabilidade espacial de valores N-SPT estão relacionados com a ocorrência de solos colapsíveis além dos efeitos hidrológicos e condições hidrogeológicas nas diferentes estações do ano (estações seca e chuvosa).

Estudando os solos eólicos (loess) do Egito, Gaaver (2012) estabeleceu alguns critérios para uma estimativa do potencial de colapsividade daqueles solos. O primeiro deles é a correlação entre a compactação do solo colapsível com energia modificada e o seu limite de liquidez partindo da premissa que este tipo de solo possui uma porosidade que permite um teor de umidade maior que seu limite de liquidez conforme demonstrado na **Figura 11**. O segundo critério adotado foi o ensaio de resistência ao cisalhamento direto em condições não saturadas e saturadas para amostras indeformadas de solos colapsíveis e amostras compactadas com energia modificada do mesmo solo com velocidade de 1,5mm/minuto. Este critério apresenta um fator de redução de resistência para as situações não saturada e saturada (RFSR) de amostras indeformadas e amostras compactadas do referido solo, ou seja, a relação entre a resistência ao cisalhamento na condição saturada e a resistência ao cisalhamento na condição não saturada. A RFSR representa o decréscimo de suporte no nível da fundação da construção devido a saturação. A demonstração desta correlação pode ser verificada na **Figura 12**. Outro critério adotado pelo mesmo autor corresponde a correlação entre o Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o limite de liquidez de um solo colapsível. Verificou, em seus procedimentos, que o CBR diminui conforme aumenta o limite de liquidez

destes solos e, ainda, que a energia de compactação deva ser maior, devido serem mais soltos, que os solos não colapsíveis conforme observados na **Figura 13**. Por fim, o autor conclui que um solo colapsível compactado reduz em média 19 % o potencial de colapso.

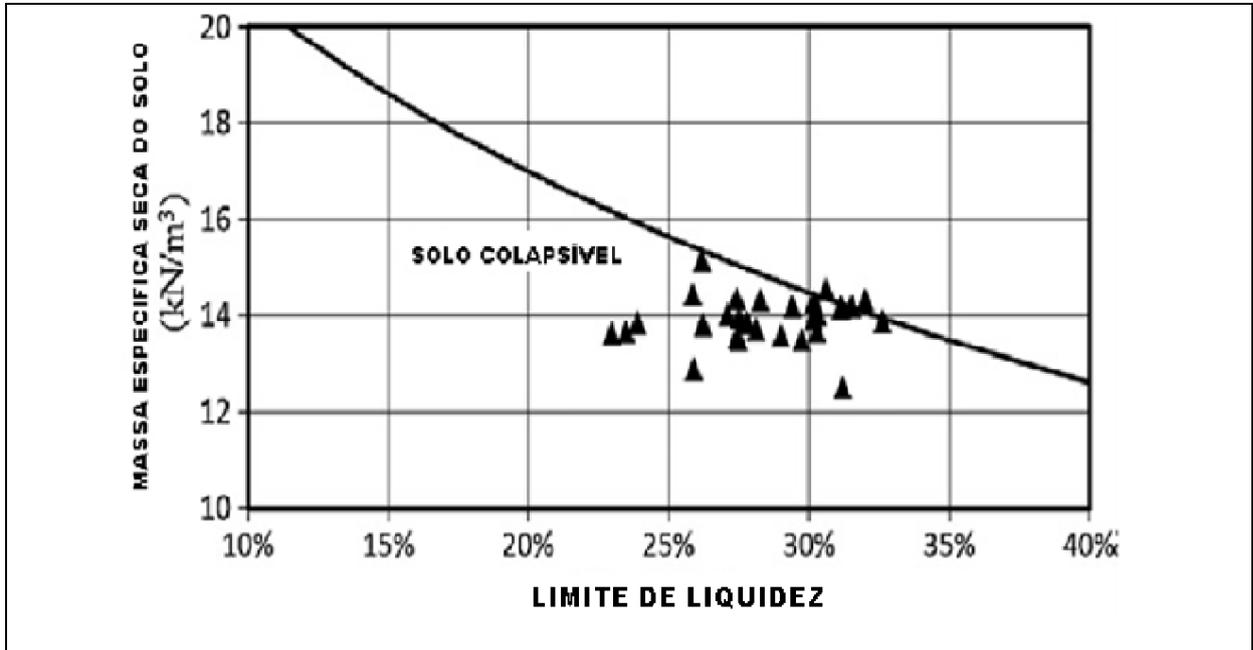


Figura 11. Peso Específico seco (compactação com energia modificada) versus Limite de Liquidez (Gaaver, 2012)

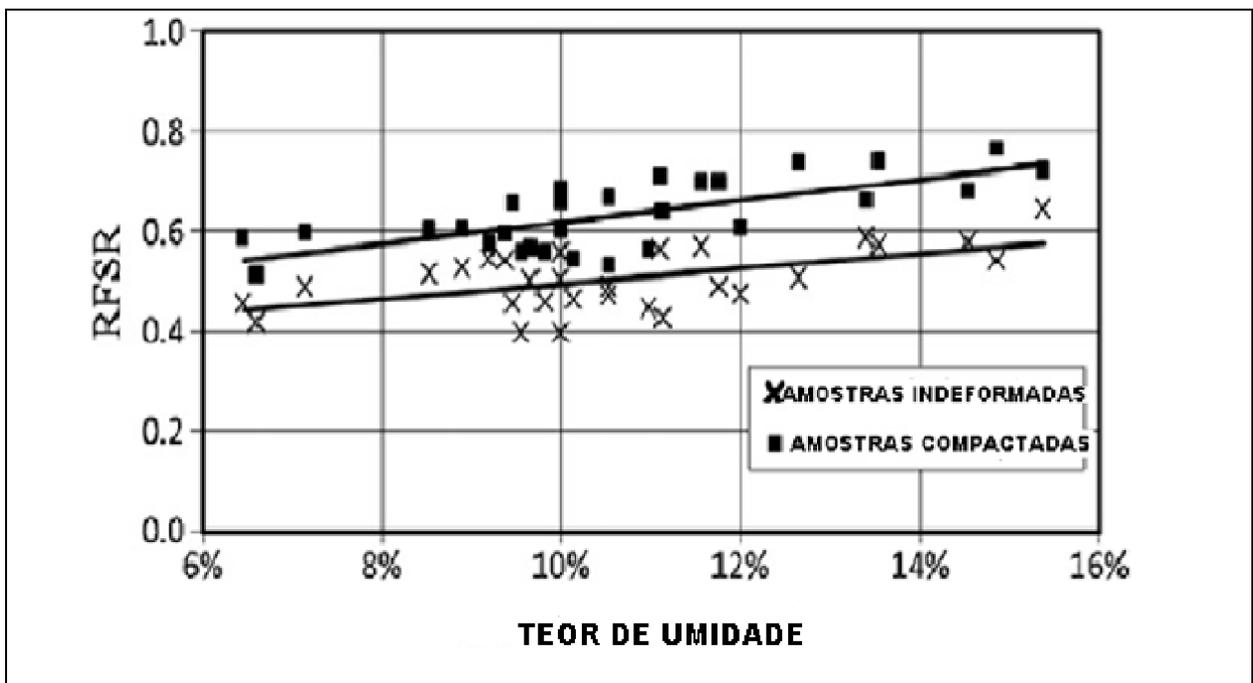


Figura 12. Fator de Redução da resistência ao Cisalhamento pela Saturação versus Teor de Umidade Inicial da amostra ensaiada (Gaaver, 2012)

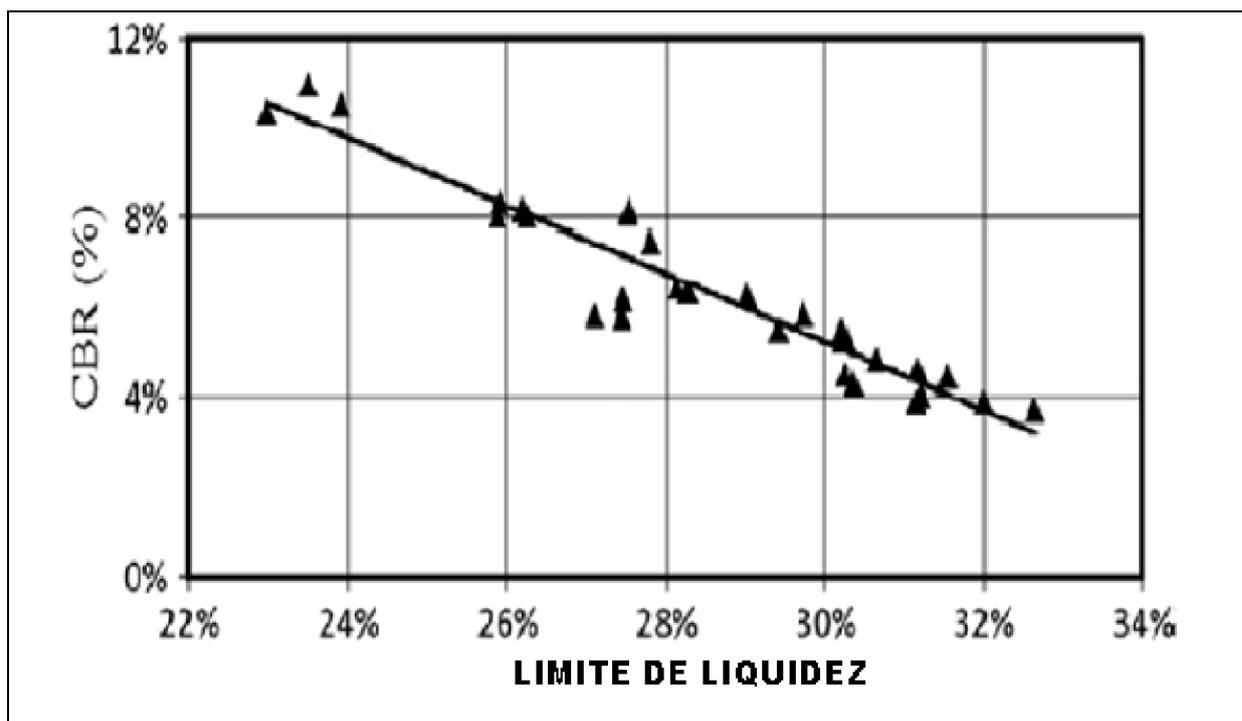


Figura 13. Índice de Suporte Califórnia versus Limite de Liquidez (Gaaver, 2012)

Ayadat e Hanna (2013) propõem uma avaliação de colapsividade de solos eólicos (loess) do Egito, através da observação de alguns parâmetros (índice de plasticidade, densidade relativa-  $R_D$ - e o diâmetro equivalente do solo-  $D_e$ ), conforme Figura 14.

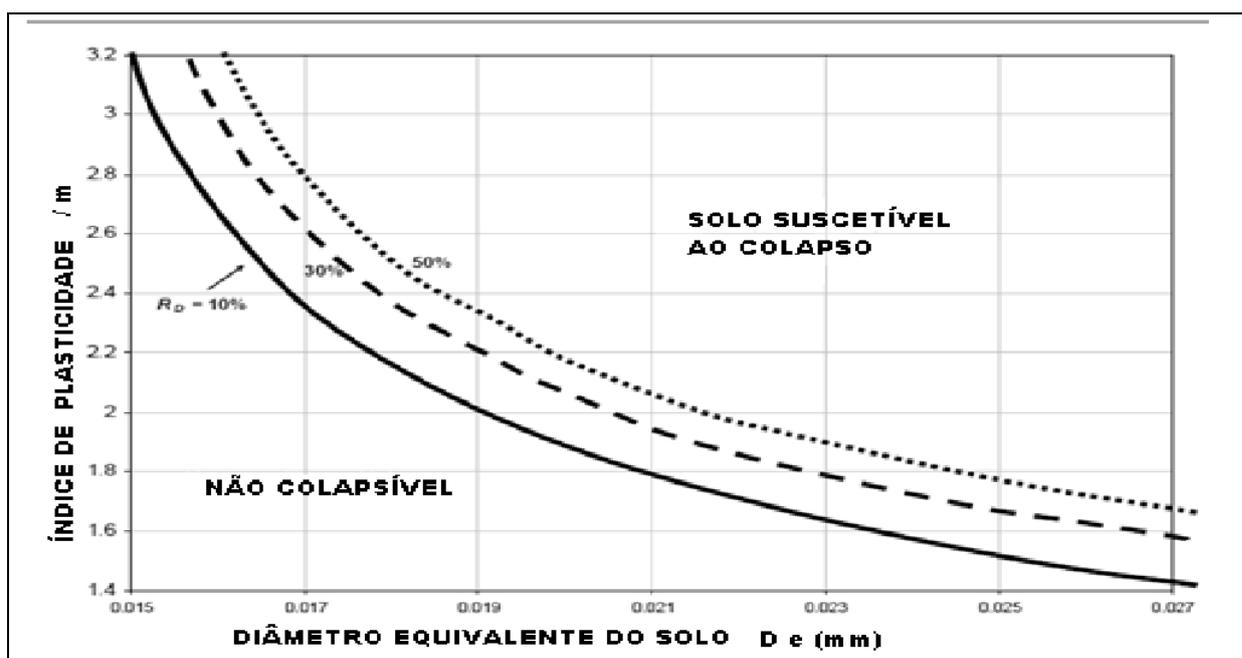


Figura 14. Carta de identificação de comportamento colapsível (Ayadat; Hanna, 2013)

Vilar e Rorigues (2015) atualizaram o método expedito bem sucedido de Gibbs e Bara (1967) para identificar solos potencialmente colapsíveis através da relação entre a densidade seca natural de um solo e a densidade seca máxima seca obtida em ensaio de compactação. O método original não era capaz de identificar solos não plásticos e, em alguns casos, não identificavam alguns solos colapsíveis. Assim, com base em conceitos gerais e características físicas do colapso relatados na literatura, perseguiram um critério para identificar solos colapsíveis, através de parâmetros de compactação pelo método de Proctor determinando-se a compactação relativa natural (RCn) do solo através da seguinte equação:

$$RCn = (Y_0 / Y_{max}) \times 100\%$$

**Equação 7**

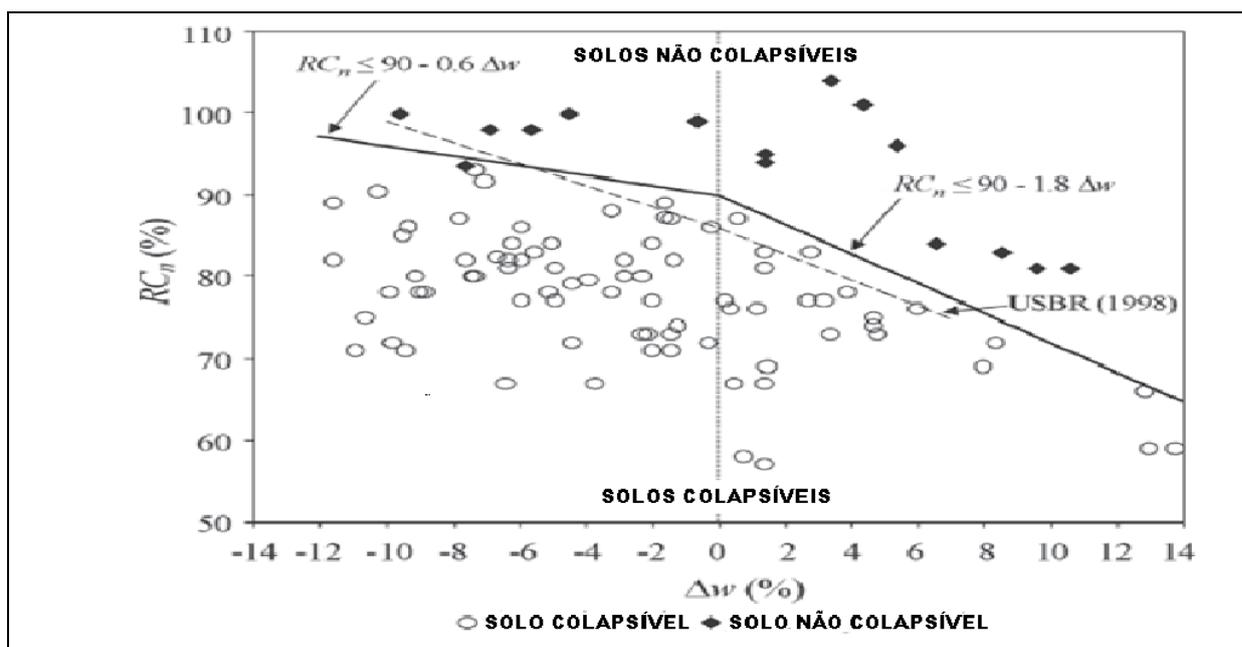
Para definir a condição crítica para o colapso, foi assumido que a densidade do solo era da maior importância uma vez que, para este tipo de deformação ocorrer, os solos devem ser suficientemente soltos para que eles sejam capazes de entrar em colapso quando a ligação entre as partículas é enfraquecida pela umidade. No entanto, o colapso também depende do teor de umidade do solo ou de seu grau de saturação. Embora os solos devem estar primeiramente, em uma condição de densidade crítica baixa para um colapso da estrutura ocorrer, o teor de umidade do solo também deve ser considerado uma parte importante na análise. Solos que já estavam com um elevado grau de saturação “in situ” e pouco afetados por umedecimento adicional vão comprimir sob carga deixando poucos vazios para o colapso acontecer. Solos com menor teor de umidade, em que o teor ótimo de umidade capaz de sustentar cargas apreciáveis com pouca compressão devido a rigidez introduzida pela sucção do solo são considerados propensos a colapsar como indicado por vários autores. Assim, deve se levar em conta a influência da umidade, ou seja, o desvio de teor de umidade ( $\Delta h$ ), dado pela diferença entre teor real de umidade do solo ( $h$ ) e o teor ótimo de umidade ( $h_{ot}$ ) de Proctor:

$$\Delta h = h - h_{ot}$$

**Equação 8**

O valor de  $\Delta h$  é negativo quando o solo é mais seco do que teor ótimo de umidade e positivo quando o solo é mais úmido do que o teor ótimo de umidade. A **Figura 15** mostra o gráfico de compactação relativa natural (RCn) e deficiência de

umidade do solo. Os autores verificaram que a maioria dos solos colapsíveis analisados são pouco compactados, mostram densidade seca inferior a  $1,50 \text{ g / cm}^3$  e deficiência de umidade. Comportamento colapsível também foi notado em solos mais úmidos do que o teor ótimo de umidade, porém sempre com um grau natural de compactação inferior a aproximadamente 85%. Geralmente, solos colapsíveis apresentam  $RC_n$  menor que 90%.



**Figura 15. Compactação relativa  $RC_n$  versus desvio do teor de umidade de solos colapsíveis (Vilar e Rorigues, 2015)**

As linhas limites da **Figura 15** também permitem afirmar um relacionamento entre a umidade natural e o desvio do teor de umidade. Assim, a seguinte condição deva ser considerada para um solo ser considerado potencialmente colapsível:

a) para solos secos ( $h < h_{ot}$ ):

$$100 \times (\gamma_0 / \gamma_{max}) \leq 90 - 0,6 \Delta h \quad \text{Equação 9}$$

b) para solos úmidos ( $h > h_{ot}$ ):

$$100 \times (\gamma_0 / \gamma_{max}) \leq 90 - 1,8 \Delta h \quad \text{Equação 10}$$

onde,  $h$  é expresso em porcentagem, com relações sendo válidas até -12% no lado seco e até + 14% no lado úmido.

Segundo, ainda, Vilar e Rodrigues (2015), o engenheiro geotécnico precisa lidar com métodos simples para contornar problemas de colapsividade, particularmente nas fases preliminares de um projeto em determinados locais ou grandes áreas, como aquela atravessada por obras lineares como canais e estradas. Este método rápido de identificação do solo colapsível é interessante para apoiar os estágios iniciais de investigação e orientação, mas não para substituir técnicas de investigação mais elaboradas que apoiarão o projeto para escolha da solução do problema da colapsividade. Devido a simplicidade deste método, é possível definir, de forma mais rápida, se um determinado solo é potencialmente colapsível. A densidade in situ pode ser medida por meio simples, como o método do frasco de areia, enquanto o teor de umidade pode ser medido através do método da frigideira. Para horizontes mais profundos do solo uma estratégia natural seria a realização de algum teste de campo, como o de penetração padrão. Alguns perfis de sondagem com SPT mostram solos colapsíveis insaturados, solos arenosos pouco compactos e solos argilosos médios e moles insaturados. No entanto, a relação entre N-SPT e colapso do solo deve ser vista com cautela, já que o N-SPT é influenciado por umidade ou sucção e é de valor limitado na identificação de solos colapsíveis. Uma possível alternativa seria a realização de ensaios N-SPT com umidade natural e após a inundação, analisando as diferenças entre os dois valores. No entanto, este assunto requer pesquisa adicional para estabelecer sua eficiência.

Ferreira (1995) e Souza Neto (2004), apud Vilar e Rodrigues (2015), citam solos colapsíveis altamente dessecados e desenvolvidos sob clima árido e semi-árido, que mostraram altos valores de N-SPT durante a estação seca, sugerindo que sua densidade relativa seja alta. Como exemplo, o N-SPT realizado na estação seca em um solo arenoso de Petrolândia- PE apresenta N-SPT superior a 10 golpes. Após três horas de inundação, o N-SPT foi reduzido para cerca de 70% do valor original e após a estação chuvosa, alguns valores medidos de N-SPT foram reduzidos de 10 a cerca de 5 golpes, mostrando a influência da umidade e sucção sobre o número de golpes e sobre densidade relativa.

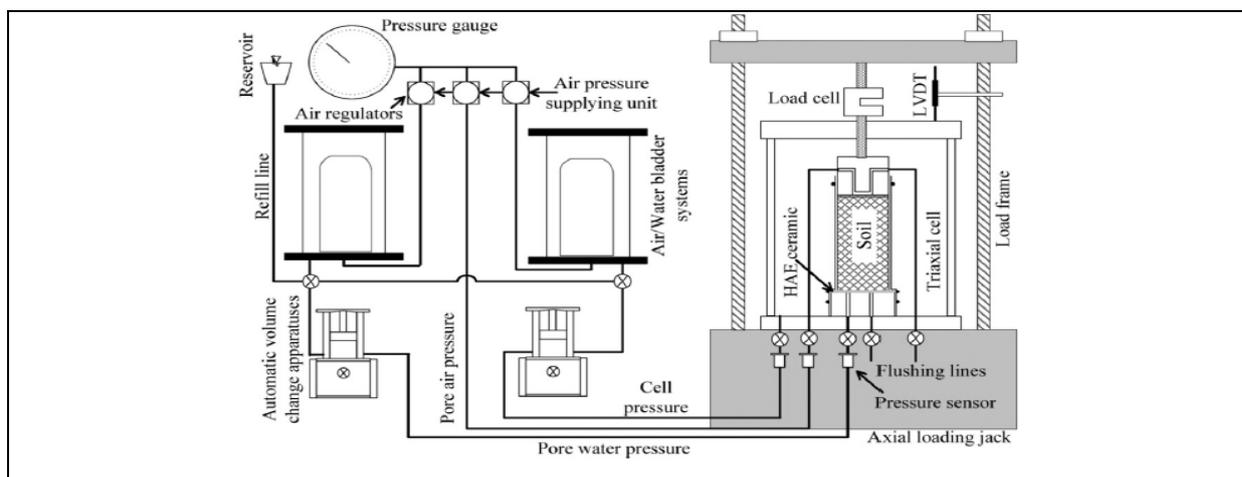
As características e o potencial de colapsividade de solos da região de Albuquerque no Estado do Novo México- EUA foram demonstrados por Lommler e Bandini (2015), conforme **Tabela 4**, verificando que, as estimativas de colapso de solos quando saturados têm sido as principais componentes nas avaliações geotécnicas desta região dos EUA.

**Tabela 4. Características e potencial de colapso de solos da região de Albuquerque-NM**

Características ou Propriedade	Intervalos	Potencial de Colapso
Densidade Seca <i>In situ</i> ( $\gamma_0$ )	$< 1,28 \text{ g/cm}^3$	Alta colapsividade
	$1,29 \text{ a } 1,44 \text{ g/cm}^3$	Provável colapsividade
	$1,45 \text{ a } 1,65 \text{ g/cm}^3$	Possível colapsividade
	$> 1,66 \text{ g/cm}^3$	Improável colapsividade
SPT ( $N$ )	$N \leq 10$	Provável colapsividade
Teor de Umidade <i>In Situ</i> ( $h$ )	1 a 6%	Provável colapsividade
Grau de Saturação ( $G$ )	3 a 20%	Provável colapsividade
	35%	Início da colapsividade
	$> 85\%$	Colapso completo
Índice de Plasticidade ( $IP$ )	$< 10$	Possível colapsividade
Solo recompactado: removido, umedecido e recompactado	-	Não colapsível

Fonte: Lommler & Bandini (2015)

Uma avaliação do comportamento hidromecânico foi proposta por Garakani et al. (2015) ensaiando amostras de um solo loéssico altamente colapsível da região de Gorgan no Irã. Para tanto utilizou um aparelho triaxial modificado que permite medições precisas de saída de água conforme **Figura 16**. O resultado indica uma linha de estado crítico única para solos insaturados sob diferentes tensões, caminhos e condições de carregamento.



**Figura 16. Aparelho Triaxial modificado (Garakani, A. A. et al, 2015)**

Louro et.al. (2016) avaliaram a colapsividade de solos do município de Rondonópolis-MT através da utilização de um expanso-colapsômetro (**Figura 17**), constatando que este equipamento facilitou a identificação de solos com estruturas metaestáveis, tais como o solo colapsível, de difícil reconhecimento por outros ensaios convencionais, como o ensaio de placa que apresenta alguns inconvenientes, tais como a necessidade de sistema de reação com cargas altas, custo elevado, necessidade maior de infraestrutura, dificuldade da execução em diferentes profundidades de um mesmo perfil de solo, longo tempo de operação nas etapas de ensaio e falta de controle da vazão de inundação do solo.



**Figura 17. Expanso-colapsômetro e seus componentes (Louro et al., 2016)**

A avaliação do fenômeno da colapsividade através da obtenção dos índices de resistência à penetração do solo (N-SPT) obtidos durante furos de sondagens a percussão pode não ser conclusiva. Entretanto, alguns autores apontam uma correlação deste índice com solos colapsíveis. Lommler e Bandini (2015) sugerem um  $N-SPT \leq 10$  para estes tipos de solo. Já Cintra, apud Brizolari et al. (2018), apresenta para as mesmas condições um  $N-SPT \leq 4$ . Brizolari et al. (2018) realizaram um estudo comparativo de solos colapsíveis em áreas sabidamente suscetíveis a este fenômeno no município de Araraquara-SP, onde ocorreram uma série de recalques diferenciados, com o referido índice N-SPT. Estes autores observaram que o fenômeno da colapsividade atingia profundidades nos perfis de sondagens onde os índices chegaram até um  $N-SPT \leq 8$ .

Ayadat e Hanna (2012) desenvolveram um novo método para avaliação de solos colapsíveis utilizando apenas valores de massa específica natural ( $\gamma$ ) e a

massa específica dos constituintes do solo ( $\delta$ ), para solos com teor de umidade inicial menor que 30%, sendo que para provável colapso deve ser obedecida a equação:

$$\gamma < 0.78 \delta \quad \text{Equação 11}$$

onde,

$\gamma$ : massa específica natural

$\delta$ : massa específica dos constituintes do solo

Essa expressão pode ser apresentada em um gráfico em massa específica natural em relação à massa específica dos constituintes do solo. Este gráfico é apresentado na **Figura 18** e é utilizado para prever a suscetibilidade do solo ao colapso.

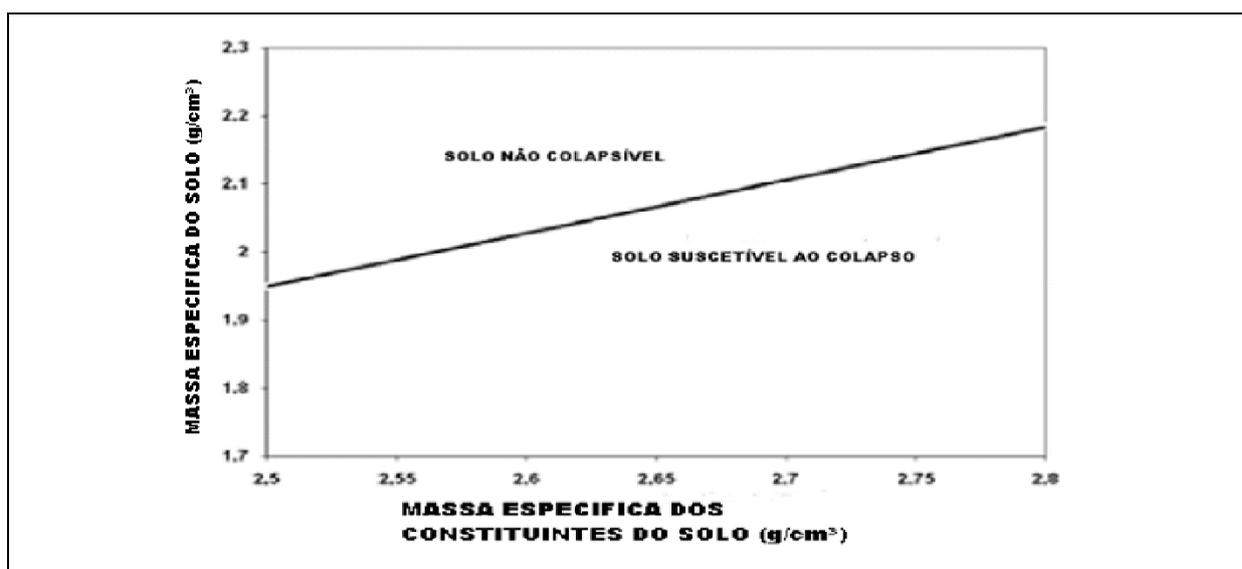
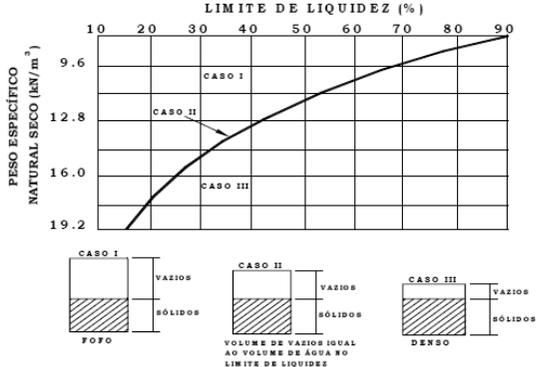


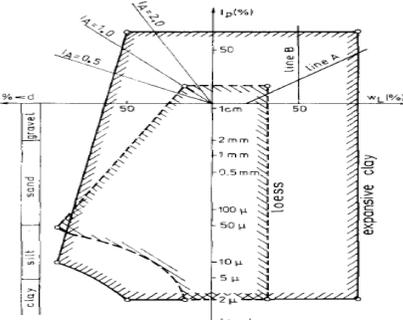
Figura 18: Carta proposta para identificação de solos colapsíveis (Aydat e Hanna, 2012)

A **Tabela 5** apresenta uma síntese dos principais critérios de investigação para avaliação de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solo.

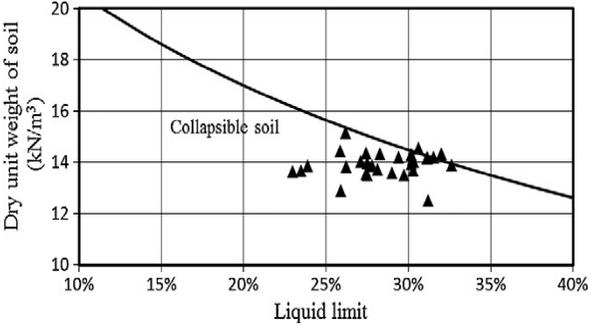
Tabela 5. Principais critérios investigativos para avaliação da colapsividade de solos

Critério	Parâmetros	Situação de colapsividade	Condições específicas
DENISOV (1951)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de vazios (e) no limite de liquidez</li> </ul>	$0,87 < e < 1,3$	-
PRIKLONSKIJ (1952) apud LOLLO (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficiente de Kd  <math>K_d = (LL - W_0) / (LL - LP)</math>            LL: Limite de Liquidez            LP: Limite de plasticidade            W<sub>0</sub>: Teor de umidade inicial</li> </ul>	Kd < 0,0 = altamente colapsível Kd ≥ 0,5 = não colapsível Kd > 1,0 = expansivo	-
MIHEEV (1962)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de vazios (e)</li> <li>Grau de saturação (G)</li> </ul>	$e > 0,5$ $G < 0,6$	-
FEDA (1966) LOLLO (2008) apud	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficiente K  <math>K = [(W_0/G) - LP] / (LL - LP)</math>            LL: Limite de Liquidez            LP: Limite de plasticidade            W<sub>0</sub>: umidade natural            G: Grau de saturação natural</li> </ul>	K > 0,85: Parcialmente saturado = Subsidentes K > 0,85 com S <sub>0</sub> < 60%, quase saturado = Colapsíveis	-
DUDLEY (1970)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grau de saturação (G)</li> </ul>	Perda de Resistencia ao colapso para G > 50%	-

Critério	Parâmetros	Situação de colapsividade	Condições específicas
<p>GIBB e BARA (1962) apud OLIVEIRA (2002)</p>	<p>Massa específica Natural seca (<math>\gamma_0</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Limite de Liquidez</li> </ul>	 <p>Solos plotados acima da linha denotada são consideradas suscetíveis ao colapso; quando totalmente saturados o teor de umidade é maior que o limite de liquidez (vide figura 5)</p>	<p>Solos pouco consolidados e limite de liquidez (LL) superior a 20%</p>
<p>JENNINGS e KNIGHT (1975)</p>	<p>% de colapso para ensaio de compressão na tensão de 200 kPa e saturação de água</p>	<p>Severidade do problema de acordo com a porcentagem de colapso</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>0 &lt; \% &lt; 1</math> = Sem problema</li> <li><math>1 &lt; \% &lt; 5</math> = Problema moderado</li> <li><math>5 &lt; \% &lt; 10</math> = Problemática</li> <li><math>10 &lt; \% &lt; 20</math> = Problema severo</li> <li><math>\% &gt; 20</math> = Problema muito severo</li> </ul>	<p>-</p>

Critério	Parâmetros	Situação de colapsividade	Condições específicas
VARGAS (1978)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente de Colapso (i)</li> </ul> $i = (\Delta e) / (1 + e_{pm})$ <p><math>\Delta e</math> = Variação do índice de vazios devido a inundação</p> <p><math>e_{pm}</math> = Índice de vazios antes da inundação, sob ação de uma determinada tensão</p>	Para $i > 2\%$ = Solo Colapsível	-
ANDREI e ATHANISIU (1979)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características granulométricas e dados de plasticidade</li> </ul>	 <p>Vide figura 6.</p>	Solos tipo LOESS
ZUQUETTE (1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relação entre massa específica natural seca (<math>\gamma_0</math>) e a massa específica máxima seca obtida no ensaio de compactação com energia normal (<math>\gamma_{m\acute{a}x}</math>) = R</li> </ul> $R = \gamma_0 / \gamma_{m\acute{a}x}$	Para $R < 80\%$ = Comportamento colapsível	-

Critério	Parâmetros	Situação de colapsividade	Condições específicas
ASTM (2003) D5353	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de colapso (IC)</li> <li>IC= <math>(\Delta h / h_0) \cdot 100</math> (%)</li> <li><math>\Delta h</math> = Mudança de altura da amostra, resultante de saturação (mm)</li> <li><math>h_0</math> = Altura inicial da amostra (mm)</li> </ul>	Grau de colapsividade de acordo com IC (%) IC = 0 Nulo $0,1 \leq IC \leq 2$ Leve $2,1 \leq IC \leq 6$ Moderado $6,1 \leq IC \leq 10$ Moderadamente severo $IC \geq 10$ Severo	Ensaio de adensamento para tensão vertical de 200 kPa
LOMMLER e BANDINE (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidade natural seca (<math>\gamma_0</math>)</li> <li>• Teor de umidade in situ (h)</li> <li>• Índice de plasticidade (IP)</li> <li>• Índice de resistência a penetração do solo (N-SPT)</li> </ul>	Para intervalos de $\gamma_0$ (g/cm <sup>3</sup> ): $< 1,28$ = alta colapsividade $1,29 - 1,44$ = Provável colapsividade $1,45 - 1,65$ = Possível colapsividade $1,66$ = Improvável colapsividade Para N-SPT $\leq 10$ Provável colapsividade Para teor de umidade (h) de 1 a 6 % = Provável colapsividade Para índice de plasticidade (IP) $< 10\%$ = Possível Colapsividade	-

Critério	Parâmetros	Situação de colapsividade	Condições específicas
GAAVER (2012)	Correlação entre a compactação do solo com energia modificada e seu limite de liquidez	<p>Solos plotados abaixo da linha denotada, são consideradas colapsíveis</p>  <p>Vide figura 11</p>	Porosidade que permite um teor de umidade maior que seu limite de liquidez
AYADAT E HANNA (2012)	Relação entre a massa específica real ( $\delta$ ) e a massa específica natural ( $\gamma$ )	$\gamma < 0.78 \delta$	Para solos com teor de umidade inicial menor que 30%
VILAR E RORIGUES (2015)	Relação entre massa específica natural seca ( $\gamma_o$ ) e a massa específica máxima seca obtida no ensaio de compactação com energia normal ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ), e desvio do teor de umidade ( $\Delta h = h - h_{ot}$ )	<p>Para solos secos (<math>h &lt; h_{ot}</math>):</p> $100 \times (\gamma_o / \gamma_{m\acute{a}x}) \leq 90 - 0,6 \Delta h$ <p>Para solos úmidos (<math>h &gt; h_{ot}</math>):</p> $100 \times (\gamma_o / \gamma_{m\acute{a}x}) \leq 90 - 1,8 \Delta h$	Nestas equações, h é expresso em porcentagem. As relações são válidas até -12% no lado seco e até + 14% no lado úmido.

Fica evidente, diante do exposto anteriormente, que alguns critérios se apresentam mais exequíveis que outros em se tratando de avaliação preliminar do fenômeno da colapsividade, o que os tornam mais interessantes na primeira etapa do detalhamento progressivo, face a simplicidade operacional. Assim, os critérios de Priklonskij (1952), Miheev (1962), FEDA (1966), Andrei e Athanasiu (1979), Zuquette (1993), Ayadat e Hanna (2012), Vilar e Rodrigues (2015) e Lommler e Bandini (2015), foram os adotados para a primeira etapa do trabalho, estabelecida pela metodologia do detalhamento progressivo proposto por Cerri (1996). Basicamente, estes critérios são contemplados com ensaios de caracterização física, determinação granulométrica, determinação dos índices de consistência e estudo de compactação. Além disto, os resultados laboratoriais obtidos nestes ensaios permitiram classificações importantes que auxiliam na elaboração das unidades geológico-geotécnicas na produção de cartas geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis em perímetros urbanos, tais como a classificação unificada de Casagrande e a classificação rodoviária, citadas por Pinto (2000). A primeira classificação tem seu emprego generalizado atualmente, em projetos geotécnicos de aeroportos e barragens de terra. Já a segunda é amplamente utilizada em projetos rodoviários. Apesar de que a classificação unificada não expresse de forma efetiva as possibilidades de colapso de um solo, conforme citado por Vilar e Rodrigues (2015), em nível regional foi possível fazer uma correlação entre esta classificação e os solos que apresentaram graus de suscetibilidade maior para ocorrência do fenômeno da colapsividade. A análise destes resultados, permitiu a delimitação de áreas com maior ocorrência de solos avaliados como suscetíveis ao fenômeno da colapsividade.

Os critérios que se baseiam em ensaios edométricos, embora apresentem resultados mais confiáveis em se tratando de solos colapsíveis, devido as dificuldades impostas por eles, foram considerados como mais oportunos no desenvolvimento da segunda etapa (etapa intermediária) neste trabalho, de acordo com o preconizado na metodologia do detalhamento progressivo. Os resultados obtidos com estes ensaios puderam determinar a escolha de uma área alvo a fim de determinar a real condição de colapsividade destes solos em escala compatível na terceira etapa da mesma metodologia. Por fim, na terceira e derradeira etapa da metodologia do detalhamento progressivo, após a escolha de uma área alvo, de maneira relativamente simples, foi executada uma sondagem a percussão e a

escavação de uma trincheira para coleta de amostras indeformadas a fim de se realizar uma correlação entre os índices de resistência à penetração do solo (N-SPT) e os índices de colapso ( $I_c$ ) obtidos em ensaios edométricos das referidas amostras em várias profundidades para a determinação real do fenômeno da colapsividade do solo desta área alvo, estabelecida pela segunda etapa da pesquisa.

### **3.3. Ocorrências Regionais de Solos Colapsíveis**

Os solos com potencial colapsível recobrem partes significativas do território paulista, onde muitas cidades apresentam tais ocorrências, principalmente aquelas localizadas sobre terrenos aplainados, em solos residuais ou coluvionares arenosos ou argilosos, porosos, sobre substrato rochoso sedimentar constituído por arenitos do Planalto Ocidental e por siltitos e argilitos da Depressão Periférica (NAKAZAWA et al., 1995).

Alguns solos da cidade de São Paulo, conhecidos como argilas porosas vermelhas também são colapsíveis. Submetidos a saturação apresentam deformações que se refletem na forma de recalques das fundações diretas neles construídas.

A construção da barragem de Três Irmãos, no Rio Tietê, exigiu atenção especial do órgão responsável em função da elevação do lençol freático na cidade de Pereira Barreto- SP, pois o subsolo da região era colapsível. Em relação às fundações, houve a necessidade de adaptações, reforços e até abandono e substituição de algumas (PINTO, 2002).

Teixeira (1993) cita que solos cenozoicos analisados no Campo Experimental da EESC-Escola de Engenharia de São Carlos, apresentam características de solos colapsíveis.

A principal característica geotécnica dos materiais inconsolidados de cobertura da Formação Rio Claro é o potencial comportamento colapsível na área urbana do município de mesmo nome (ZAINÉ, 2000).

Pejon (1992) em trabalho de mapeamento geotécnico da região de Piracicaba-SP, apesar de não ter contemplado o perímetro urbano deste município na época e não ter tecido comentários à respeito do fenômeno da colapsividade dos solos, o zoneamento geotécnico proposto apresenta quesitos tais como o substrato rochoso, cobertura de solo, declividade etc., que ajudam elucidar a ocorrência de

materiais com potencialidade ao fenômeno da colapsividade. Com a expansão urbana do município de Piracicaba desde então, algumas áreas mapeadas por este autor hoje estão inclusas no perímetro urbano.

O Relatório Ambiental Preliminar –RAP- do Sistema de Distribuição de Gás Natural do Trecho Limeira-Piracicaba (COMGÁS, 1998) aponta a existência de materiais coluvionares constituídos por areia fina pouco siltosa de cor avermelhada muito homogênea e porosa com fortes possibilidades de apresentar o fenômeno de colapsividade.

Vilar e Rodrigues (2011), apud Vilar e Rodrigues (2015) analisaram resultados típicos do colapso do solo do noroeste do Estado de São Paulo, após o enchimento de um reservatório . Esta região é coberta por solos arenosos que têm uma natureza coluvial e atingem profundidades de cerca de 10 m. Suas características são: massa específica dos sólidos,  $\delta = 2,63 \text{ g/cm}^3$ , massa específica seca,  $d = 1,44 \text{ g / cm}^3$ , teor de umidade,  $w = 7,2\%$ , índice de vazios,  $e = 0,85$ , porosidade,  $n = 46\%$ , limite de líquidez,  $LL = 18\%$ , limite de plasticidade,  $LP = 11\%$ , argila = 15%, silte = 6% e areia = 79%. Normalmente se classificam como SC no Sistema Unificado de Classificação de Solos. O ensaio de Proctor determinou uma massa específica seca máxima,  $d_{max} = 2,04 \text{ g / cm}^3$  e teor ótimo de umidade  $h_{ot}$  de 8,6%.

A julgar pelos enunciados acima, pode-se considerar que a existência de solos que apresentam suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade não são restritos a nenhuma região específica, razão pela qual este assunto, embora em evidência atualmente, ainda é carente de informações e, portanto, alvo de novas pesquisas. A

**Tabela 6** demonstra as diversas ocorrências e suas conotações no estado de São Paulo.

**Tabela 6. Solos do Estado de São Paulo com características que podem apresentar suscetibilidade ao fenômeno de colapsividade**

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Compartimentação Geomorfológica</b>	<b>Unidade Geológica</b>	<b>Autor</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Macro poroso</li> <li>• Microagregados lateríticos</li> <li>• Solos residuais ou Coluvionares arenosos ou argilosos, porosos, sobre rochas areníticas</li> </ul>	Planalto ocidental	Grupo Bauru	NAKAZAWA et al., 1995
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos Coluvionares arenosos</li> </ul>	Planalto ocidental	Grupo Bauru	Vilar Rodrigues (2011)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos residuais ou Coluvionares arenosos ou argilosos, porosos, sobre argilitos e siltitos</li> </ul>	Depressão Periférica	Grupo Passa Dois Super-Grupo Itararé	NAKAZAWA et al., 1995
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argilas porosas vermelhas</li> </ul>	Planalto Atlântico	Bacia Sedimentar de São Paulo	PINTO, 2000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos cenozoicos</li> </ul>	Cuestas	Coberturas Cenozoicas	TEIXEIRA 1993
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiais inconsolidados de cobertura da Formação Rio Claro</li> </ul>	Depressão Periférica	Formação Rio Claro	GIBOTTI JR, 1999; ZAINÉ (2000)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiais Coluvionares Arenó-siltosos</li> </ul>	Depressão Periférica	Grupo Passa Dois Super-Grupo Itararé	COMGÁS, 1998
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos porosos naturais</li> <li>• Solos Lateríticos</li> </ul>	-	-	SOTO, 2007 BENALTI 2010
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos residuais de rochas sedimentares grosseiras; arenosos</li> <li>• Solos residuais de rochas sedimentares químicas; argissolos</li> <li>• Solos residuais de rochas ígneas ácidas; arenosas</li> <li>• Solos residuais de rochas ígneas básicas; argilosas</li> </ul>	-	-	LOLLO, 2012

### 3.4. Consequências Geradas pelo Fenômeno da Colapsividade

Bittar (1995) cita diversos problemas relacionados ao uso e ocupação em terrenos em áreas de solo colapsíveis tais como os recalques de terrenos e de fundação decorrentes de colapso do solo que podem danificar edificações, obras de infraestrutura e leitos viários, figuram como situações importantes e cada vez mais frequentes em áreas urbanas e rurais. Estas situações ocorrem principalmente nos setores de ocupação mais antiga em que existem instalação de infraestrutura, como as redes de água, de esgoto e galerias de águas pluviais e áreas úmidas de residências que estão degradadas, ou subdimensionadas e/ou obsoletas, sendo que

a maior parte das edificações não contam com estruturas adequadas de fundações para este tipo de fenômeno. Quando saturados estes solos podem desenvolver concomitantemente o processo de lixiviação de sedimentos finos, formando “piping”, que redundando em aumento de recalque de superfície. As subsidências em áreas de solos colapsíveis ocorrem pelo abatimento do terreno decorrente do adensamento do solo quando saturado, em consequência do colapso de sua estrutura.

Obras de engenharia fundadas em solos colapsíveis podem ser danificadas de forma súbita e quando esses solos são saturados após a construção geralmente induzem a grandes recalques. Assim, o potencial de colapso é importante para o projeto de muitas estruturas de engenharia (ASTM, 2003).

Rodrigues e Lollo (2007), apud Lollo (2012) verificaram a influência do esgoto doméstico sobre um solo colapsível, baseando-se em ensaios edométricos, análises de parâmetros físicos e químicos do esgoto percolado e avaliação da microestrutura do solo através de microscopia eletrônica de varredura e de variações na composição através de ensaios de energia dispersiva. Segundo os autores, a presença de sódio dos sabões e detergentes presentes no esgoto doméstico tem influência significativa no processo de colapso, independentemente de condições de pH e viscosidade do fluido.

Lollo (2012) esclarece que o processo de colapso dos solos provoca deslocamentos que podem provocar danos importantes à edificação e aos elementos da fundação. Os danos maiores ocorrem nas alvenarias, tanto de fechamento como estrutural, lajes e coberturas. Em casos extremos, principalmente em construções mais antigas com projetos inadequados, os danos podem levar a ruína da edificação.

Sabidamente, as consequências advindas pelos processos colapsíveis do solo são inúmeras, principalmente aqueles desencadeados pelas atividades antrópicas. Há de se considerar, por exemplo, os riscos de vazamento de água e esgoto, não só dos empreendimentos, mas também aqueles da rede pública. Assim, e não ao acaso, foi observado na cidade de Ilha Solteira-SP que a grande maioria das residências daquela localidade com problemas de trincas ocasionadas pelo fenômeno da colapsividade foram atribuídas a vazamentos de água e esgoto, principalmente as localizadas próximas das esquinas, locais de junções como conexões e curvas (OLIVEIRA, 2002).

Portanto, espera-se que os profissionais da área de construção se interajam com esta questão dos fenômenos colapsíveis dos solos e busquem soluções preventivas. Este assunto vem ganhando interesse nos últimos anos, razão pela qual este trabalho visa apresentar uma contribuição para o seu entendimento.

### **3.5. Recomendações Construtivas em Solos Colapsíveis**

Considerando o desconhecimento generalizado dos profissionais na área da construção civil, julga-se importante uma apresentação sucinta e atualizada das recomendações construtivas em terrenos suscetíveis ao fenômeno da colapsividade. São abordagens que tratam alguns métodos construtivos, de tratamento e preventivos.

No decorrer dos estudos geológico-geotécnicos para implantação do projeto de irrigação do Jaíba na margem direita do Rio São Francisco no extremo norte do Estado de Minas Gerais, verificou-se a ocorrência de solos colapsíveis em área de fundação de canais. Desta forma, o IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo desenvolveu um programa de investigação destes solos envolvendo ensaios edométricos e de campo com a finalidade de estabelecer diretrizes de estudos futuros e propiciar respaldo para soluções de tratamento das fundações dos canais envolvidos. Foram realizados ensaios edométricos completos com e sem inundação. Em algumas amostras ensaiadas do ramo seco, realizou-se a inundação na menor tensão de descarregamento e não foi observado recalques adicionais onde se conclui que os efeitos de colapso podem ser causados também pela aplicação de compressões elevadas. Além disto, por necessidade de redução de prazo e obtenção de um número maior de dados, alguns ensaios foram realizados de forma rápida, onde os corpos de prova eram carregados e inundados nas tensões de 13, 53 e 106 kPa e em seguida interrompidos sem completar o ciclo completo de carga e descarga. Outra constatação observada nestes ensaios edométricos foi que ocorre um sensível decréscimo de recalques em profundidades maiores do terreno. Os ensaios de campo se deram através de protótipos de aterros de até quatro metros de altura assentados sobre cavas abertas com tanqueamento das mesmas simulando tensões reais. Os resultados mostraram de forma inequívoca os efeitos do fenômeno da colapsividade e evidenciaram os possíveis danos que ocorreriam nos revestimentos de concreto dos canais, caso não houvesse um tratamento adequado (WOLLE et al., 1978).

Os mesmos autores apresentaram uma proposta inicial de tratamento através de um pré-tanqueamento, não obstante outras soluções poderiam ser adotadas posteriormente, tais como molhamento por aspersão, uso de explosivos e recompactação do solo natural

Os métodos clássicos de previsão de capacidade de carga de fundações, embutidos em solos lateríticos como os de Londrina-PR, tornam-se conservadores frente aos resultados reais obtidos por meio de provas de carga estática à compressão. Os métodos semi-empíricos de Décourt e Quaresma (1978) utilizados para a estimativa de capacidade de carga das estacas de pequeno porte naquela região confirmam esta assertiva. Quanto à colapsividade, estes métodos se colocam contra a segurança, uma vez que não levam em consideração a redução da capacidade de carga das fundações quando o solo sofre colapso chegando, no caso de Londrina-PR, a reduções que variam de 34 a 50% para as estacas escavadas com trado manual (MIGUEL et al, 2003 e MIGUEL et al., 2005).

A utilização de reforço com estacas “MEGA” de concreto é prática comum nos casos de obras que apresentam problemas de fundação em função do colapso do solo. Assim, Donadon (2009) realizou provas de carga nas referidas estacas com comprimentos de seis e oito metros em solo com umidade natural e pré-inundado no campo experimental da UNESP em Bauru -SP. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que houve uma perda apreciável da capacidade de carga quando utilizadas em solo colapsível, pois em cargas medidas na cravação das estacas, para os dois comprimentos e nas duas condições de solo, foi possível verificar a perda de capacidade de carga por colapso, tendo uma redução média de 52% para estacas de 6m e de 45% para estacas de 8m de comprimento.

Segundo Lollo (2012), as intervenções que visam reduzir os danos a edificações causados pelo processo colapsível podem ser de duas formas: mudança de projeto de fundação ou mudança construtiva. Assim, para o primeiro caso, o autor esclarece que elementos de fundação com maiores diâmetros para estacas cravadas reduzem a possibilidade de flambagem na cravação, enquanto para estacas “in situ” melhor é a adoção de menores diâmetros associados ao lançamento de brita ou concreto pouco plástico no fundo da escavação seguido de apiloamento. Já para minimizar os efeitos da infiltração de água em solos colapsíveis o autor recomenda projetar um sistema adequado de drenagem de águas pluviais, impermeabilizar a área perimetral das construções com largura

mínima de 1,5 m, instalar redes de água e esgoto no interior de dutos protetores, remover uma camada de solo superior que a necessária à implantação das redes promovendo, a seguir, sua compactação, instalação de redes com utilização PVC e troca de tubulações antigas de fibrocimento ou cerâmica vermelha por PVC.

Entre as metodologias de instalação de drenos, cita-se a apresentada pela NRCS- Natural Resources Conservation Services (1994), apud Pimenta F<sup>o</sup> (2013), baseada nas características granulométricas do solo. Entretanto, segunda Pimenta F<sup>o</sup> (2013), o dimensionamento de filtros em um projeto não deve ser executado sem levar alguns aspectos em consideração, tais como a disponibilidade de matérias no local da obra. Além disto são necessários o estudo da distribuição de vazios e a simulação de carreamento de partículas como os preconizados em Silveira (1964), apud Pimenta F<sup>o</sup> (2013).

Realizando provas de carga em um solo da região de Bauru-SP, Agnello e Albiero (1994) concluíram que não se deve recomendar o emprego de fundações rasas em solos com características colapsíveis como aquele estudado em função da baixa capacidade de carga e ocorrência instantânea de recalque quando inundado. Caso se opte por fundação rasa nestas condições, precauções devem ser adotadas para evitar infiltrações de água e, mesmo assim aconselha-se adotar para a fundação uma taxa de trabalho com valor abaixo da pressão de fluência do solo inundado. No caso de Bauru as pressões de influência com inundações do terreno nas profundidades de um metro e dois metros correspondem a 19kPa e 60kPa, respectivamente.

Gaaver (2012), estudando os solos eólicos (loess) do Egito, considera o emprego de algumas alternativas de tratamento para solos colapsíveis para diminuir o potencial de redução brusca de volume dos mesmos antes das construções, tais como: umedecimento e compactação com rolos compressores, estabilização química com injeção de soluções de silicato de sódio e cloreto de cálcio. Para maiores profundidades o autor sugere um pré-colapso por saturação através de poços, conforme o avanço da saturação, o solo vai se auto compactando em função do colapso até atingir um estágio de equilíbrio. Neste caso, cuidados devem ser tomados para não comprometer construções vizinhas. Os sistemas de fundação profunda abaixo das camadas colapsíveis ou da zona sujeita a saturação podem ser utilizados; e, além disto, existem outras técnicas de tratamento viáveis como um colchão de solo- cimento ou colunas de material rochoso. Este autor esclarece que a

capacidade de suporte dos solos colapsíveis é reduzida em cerca de 50% devido a saturação e uma forma de contornar esta situação seria a compactação deles em que poderiam aliviar entre 24 e 30% esta redução.

A utilização de radier estaqueado em solos colapsíveis da região do Distrito Federal foi proposta por Castilho (2013) como solução viável e econômica para edifícios baixos assentes neste tipo de solo e leva em conta principalmente a redução das tensões efetivas atuantes na massa de solo subjacente e as demais variáveis de controle. Conclui-se, desta forma, que o aumento da espessura do solo melhorado reduz o incremento de carga nas estacas e permite um melhor controle do recalque diferencial, além de diminuir as tensões atuantes no topo da camada de solo colapsível. A partir das investigações numéricas realizadas, os principais fatores eficazes no comportamento do radier estaqueado, combinado com camada de solo melhorada, foram o número de estacas e a espessura da camada melhorada abaixo do radier. Porém, observa-se que a espessura da camada de solo melhorada tem um efeito muito pequeno na redução do recalque total. O aumento da espessura da camada de solo melhorada, quando combinado com o radier estaqueado, diminui razoavelmente os valores das tensões atuantes sob o solo natural, controlando assim as tensões que podem levar ao colapso caso haja umedecimento da massa terrosa por efeito de chuva ou outro. O aumento da quantidade de estacas no sistema de radier estaqueado combinado permitiu a diminuição do recalque atuante no solo, da distorção angular e do aumento dos fatores de segurança global e parcial do sistema.

Ali (2015), estudou o comportamento e o desempenho da areia pré-molhada e compactada em substituição ao solo colapsível. A investigação de campo foi realizada sob a forma de testes de carregamento de placas realizados para explorar o efeito da espessura de substituição da areia compactada no potencial de colapsabilidade. O solo colapsível tratado foi substituído por solo sem coesão importado com espessura variável de até 30 cm. O solo de substituição aumenta a taxa e reduz a quantidade de assentamento, pois os testes de campo realizados em solos colapsíveis de Borg Al-Arab em Alexandria no Egito indicaram que o solo de reposição melhora a estabilidade do solo colapsível. A influência da substituição do solo é significativa depois de ser melhorado por umedecimento e compactação. O potencial de colapsividade depende do teor de umidade inicial, profundidade de umedecimento. A substituição do solo por outro compactado sem coesão reduz o

assentamento da base em cerca de 50% e aumenta a capacidade de suporte em cerca de 100%.

A utilização de compactação dinâmica-CD- (**Figura 19**) em solos loessícos colapsíveis foi proposta por Shi et al. (2015). Vários testes foram realizados com diversificação de energias e alturas de queda e foram baseados em ensaios preliminares de resistência a penetração do solo (SPT), testes de penetração estática e testes de carga de placas em solos da Província de Guansu no noroeste da China. Os autores concluíram pela eficácia do método que praticamente elimina os problemas originados pela colapsividade do solo.



**Figura 19. Equipamento de Compactação Dinâmica**

Fundações diretas em solos colapsíveis podem apresentar algumas inconveniências, pois estes fenômenos são mais proeminentes em camadas superficiais. Uma das maneiras de atenuar estas limitações, foi proposta por Freitas (2016). O autor sugere a execução de colunas de solo laterítico compactado inseridas nas camadas colapsíveis superficiais.

Iranpour e Haddad (2016) realizaram uma experiência de tratamento de solos colapsíveis utilizando nanomateriais selecionados. As amostras foram tratadas com quatro tipos de nanomateriais (nanoclay, nanocopper, nanoalumina e nanosilica) e combinados sob diferentes percentuais do peso seco total do solo. Os

resultados apontaram que o uso de vários nanomateriais teve efeitos diferentes sobre o comportamento dos solos colapsíveis. A combinação de solo e nanomateriais é muito sensível e a quantidade e o tipo de nanomateriais adicionados ao solo poderiam ter impacto positivo ou negativo nos atributos desejados e usando uma porcentagem adequada de nanomateriais resultaria na melhoria da qualidades do solo. No que diz respeito ao nanomaterial, um dos principais parâmetros é a superfície específica. O nanoclay tem uma superfície específica maior em comparação com a nanosílica, mostrando assim uma redução mais considerável do potencial de colapso com a adição ao solo. O efeito desse parâmetro também é digno de nota no caso de nanocopper e nanoalumina.

Recomendações para reforço do solo, tais como compactação, do tipo loess observados na região central da Moldávia, para efeitos construtivos de edifícios, foram baseadas na espessura destas camadas (OLYANSKY et al., 2016).

Ayeldeen et al. (2017) investigaram a capacidade de usar biopolímeros para melhorar as condições mecânicas de um solo colapsível. Foram utilizados dois tipos de biopolímeros neste estudo: goma de xantano e goma de guar por causa de seu comportamento estável em condições severas e sua disponibilidade com preços razoáveis. O programa experimental centrou-se em três propriedades principais do solo: caracterizações de compactação, potencial colapsível e parâmetros de cisalhamento. Estas propriedades são essenciais em qualquer processo de melhoria do solo. Foram utilizadas diferentes concentrações de biopolímeros neste estudo e o programa experimental foi realizado em dois períodos de cura: logo após a mistura do solo com o biopolímero e após uma semana de tempo de cura. Os parâmetros de cisalhamento foram medidos para as amostras saturadas e indeformadas enquanto o ensaio de potencial colapsível foi realizado sob diferentes condições de mistura (mistura úmida e mistura seca). Um modelo numérico foi construído para prever o comportamento do do solo colapsível tratado até a saturação. A análise dos resultados indicou que, através do tratamento com ambas as gomas, ocorre uma melhoria das condições mecânicas do solo colapsível, pois houve uma redução significativa do potencial de colapsividade de 9% para 1% após a mistura do solo com 2% de polímeros no caso de mistura úmida. Após um período de cura de uma semana, a resistência pela coesão aumentou de 8,5 para 105 kPa ocasionando uma melhoria geral da resistência ao cisalhamento do solo. A goma de guar se mostrou superior em relação a goma de xantano, pois apresentou uma

resistência ao cisalhamento 30% maior e redução ao potencial colapsível em cerca de 20% a mais do que a goma xantana nas mesmas condições. Os autores deste trabalho concluíram que o biopolímero revelou-se altamente eficiente na redução do potencial colapsível, tanto na condição úmida quanto na condição seca com uma ligeira vantagem para a condição úmida. Misturar o solo com 2% de concentração de biopolímero leva a uma redução no potencial colapsível de 9% para cerca de 1% e apesar da redução da densidade, que foi observada com o aumento da concentração, a resistência ao cisalhamento do solo tratado melhorou.

### **3.6. Critérios de Mapeamento**

Zaine (2011), ao apresentar uma proposta metodológica de Análise Integrada do Meio Físico voltada à geologia de engenharia, destaca a importância do entendimento dos processos e fenômenos geológicos responsáveis pela evolução das formas de relevo e como estes se associam com os diferentes tipos de rochas, solos e materiais inconsolidados.

No âmbito da geologia urbana, considera-se o mapeamento geotécnico como uma importante ferramenta que fornece parâmetros para estabelecer mapas de adequação dos terrenos para fins construtivos e para uma expansão urbana de forma segura. A metodologia de mapeamento do gênero a ser seguida deve abordar inicialmente as seguintes questões: escolha de uma escala apropriada para o mapeamento, seleção de um método de mapeamento de geologia urbana, e compilação de mapas na produção final para efeito de planejamento urbano. A finalidade do mapeamento geológico urbano reúne e explora os dados disponíveis da área de estudo. Inclui aí a natureza dos materiais geológicos superficiais, a topografia, rede de drenagem, profundidade do nível de água, propriedades geotécnicas dos materiais e ensaios geotécnicos, além de dados obtidos por sondagens (EL MAY et al., 2010).

Os mapas apresentados em guia da UNESCO (1976) podem ser de escala grande: maiores que 1:10.000; escala média: entre 1:10.000 e 1:100.000, e escala pequena: menores que 1:100.000. A escolha da escala de mapeamento geotécnico vai depender de alguns critérios: detalhamento do mapa da área, complexidade, mapas utilizados- geológicos, pedológicos, folhas topográficas e fotos aéreas (PRINCE, 1981). A escala utilizada de 1:25.000 para o mapeamento geotécnico de

Túnis nos trabalhos de El May et al. (2010) expressa os parâmetros geotécnicos que permitem uma avaliação bem-sucedida para efeito construtivo e de planejamento.

Uma das técnicas de avaliação de terrenos sob o ponto de vista geotécnico, foi preconizada por Lollo (1998) para o levantamento das condições do meio físico através de informações anteriores de natureza geológica e geológica, envolvendo produtos de sensores remotos, mapas, além de boletins e relatórios de estudos de prospecção geotécnica e elaboração de base cartográfica, uso de fotos aéreas para avaliação do terreno através de montagem de foto mosaico, procedimentos de análises e interpretações das mesmas para delimitação dos landforms presentes na área (sistemas de terrenos, unidades de terreno, e elementos de terreno), caracterização geotécnica das unidades e amostragens e ensaios, e elaboração de mapas e documentos relacionados.

Franco et al. (2010) apresentam uma compilação do estado de arte da cartografia geotécnica do Brasil. Neste trabalho tecem esclarecimentos à respeito dos conceitos e metodologias de mapeamento adotados recentemente. Entre estes, os mais pertinentes são apresentados de forma sucinta:

- A cartografia geotécnica permite uma visualização das características e processos do meio físico e leva em consideração as limitações e potencialidades para tomadas de decisões frente ao crescente uso e ocupação de áreas (ALMEIDA, 2006);
- A carta geotécnica é composta principalmente por um conjunto cartográfico (cartas e respectivos quadros e legendas) e um relatório descritivo. Estes documentos não substituem as investigações detalhadas dos locais (ensaios in situ e ensaios de laboratório), mas auxiliam no planejamento territorial, urbano e ambiental (ZUQUETTTE; NAKAZAWA,1998);
- A carta geotécnica está inserida na cartografia temática que representa as bases cartográficas existentes e os fenômenos qualitativos e quantitativos (DENIT, 1993 apud PAULA; CERRI, 2008);
- Zuquette (1993) propõe o termo “mapeamento geotécnico” para representar os atributos do meio físico sem a análise interpretativa, geralmente executada em escalas regionais (1:100.000 e 1:250.000), e que pode auxiliar no macroplanejamento. Já o termo “carta geotécnica”, em escala maior que 1:100.000 e menor que 1:5.000, representa o resultado da interpretação destes atributos, mais utilizados nos estudos de expansão urbana. Este

mesmo autor destaca ainda o termo “planta geotécnica” como sendo a representação gráfica em escalas maiores que 1:5.000, voltadas para locais de obras específicas; e

- A carta de suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso urbano do solo. Assim, esta carta expressa as suscetibilidades, segundo classes de probabilidade de ocorrência (BITTAR et al., 1992). Os mesmos autores, propõem o termo “carta de risco geológico” em situação onde preponde a avaliação de dado potencial à ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco, resultante da conjugação da probabilidade de ocorrência de manifestações geológicas naturais e induzidas e das consequências sociais e econômicas decorrentes.

Entende-se por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para atividades humanas. Entre estes processos, pode-se citar a colapsividade dos solos (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

A cartografia geotécnica, através da compartimentação por unidades de terreno, associada a uma caracterização por perfis típicos de solos tropicais, acaba por refletir a análise fenomenológica de suscetibilidade a processos do meio físico, além de permitir uma avaliação da aptidão à urbanização, prevenindo assim certos problemas de riscos geológicos (DINIZ, 2012). Esta metodologia se baseia em atributos de geofomas que caracterizam as unidades de terreno (Uts), as quais, em síntese, representam associações naturais homogêneas, em termos de comportamento geológico-geotécnico (parâmetros e atributos de geologia, geomorfologia e distribuição de solos no perfil tropical). Elas, podem ser definidas a partir de mapas específicos existentes por fotointerpretação, geomorfometria e mapeamento de campo. Entre as diversas situações de suscetibilidade citadas nesta metodologia inclui-se a colapsividade de solos.

Souza e Diniz (1992), apud Diniz (2012), exprimem os atributos necessários para o estabelecimento destas unidades de terreno e são apresentadas na **Tabela 7**.

**Tabela 7. Atributos para estabelecer Unidade de Terreno (UT)**

Meio Físico	Características
GEOFORMA	Feições de relevo, cicatrizes, depósitos.
	Sistemas de formas de relevo
MATERIAL INCONSOLIDADO	Perfil de alteração
	Processo de alteração
	Textura
	Origem
	Rocha Original
LITOLOGIA-ESTRUTURA	Espessura
	Litotipo
MORFOMETRIA	Geotécnico
	Declividade
	Amplitude de relevo
	Densidade de Drenagem
	Forma da encosta

Fonte: Souza; Diniz (1992), apud Diniz (2012)

Um método de identificação e classificação de solos colapsíveis usando a teoria dos conjuntos fuzzy foi apresentado por Momeni et al (2012). Os autores categorizam os fatores que contribuem para a colapsibilidade do solo em uma escala regional. O método usa uma ramificação de decisões com termos lingüísticos e permite que o engenheiro possa investigar o efeito da incerteza do parâmetro na colapsibilidade computacional do solo em um maneira sistemática. Três categorias de fatores que afetam a colapsibilidade do solo (características geotécnicas, geológicas e ambientais) foram estabelecidos na **Tabela 8**.

**Tabela 8. Fatores de avaliação do potencial de colapsividade de solos e respectivos pesos de avaliação**

Fatores Principais	Peso	Fatores Secundários	Peso
Condições Geológicas	B	Idade dos depósitos	B
		Tipo de depósito	A
		Sólidos Dissolvidos	C
Características Geotécnicas	A	Granulometria fina	A
		Granulação Grosseira	C
		Grau de Saturação	A
Condições Ambientais	B	Condições Climáticas	A
		Condições de Vegetação	D
A= extremamente importante, B= muito importante, C= Importante, D=razoavelmente importante			

**Fonte: Momeni et al. (2012)**

Para cada categoria, fatores ou subcategorias foram avaliados em uma ramificação de decisões com base em uma revisão de literatura e parecer de especialistas. Um conjunto de critérios de avaliação do colapso foi estabelecido para cada fator usando pesos apropriados e classificações com base na média geométrica e no modelo determinístico. O conjunto fuzzy resultante foi então transformado em um padrão de colapso através de correlações com ensaios laboratoriais para determinação do potencial de colapso em 87 amostras indeformadas de todo o Irã. Este método foi apresentado para avaliar o estado atual do potencial de colapso, comparando o conjunto fuzzy de potencial de colapso com diferentes estados de colapsibilidade obtidos através da norma ASTM D 5333. O mapeamento do potencial de colapso do solo de uma determinada área deve estabelecer uma divisão em várias células menores. O potencial de colapso é avaliado para cada célula usando os critérios pré-estabelecidos. As avaliações, em termos lingüísticos, são inseridas em um programa de computador desenvolvido para calcular o índice de credibilidade relativa ( $W_i$ ) através da equação:

$$W_i = S_i / \sum_{i=1}^4 S_i \quad \text{Equação 12}$$

onde

$S_i$  é o escore de credibilidade do estado de colapsibilidade para cada célula.

Os contornos do potencial de colapso do solo podem ser realizados com base nos valores que, por sua vez, produzem um mapa potencial de colapso do solo. Segundo, ainda, Momeni et al. (2012) é evidente que os fatores geológicos e ambientais devem ser considerados para qualquer mapeamento de risco relacionado ao solo natural em escala regional. Embora incomum em escala regional, fatores geotécnicos foram introduzidos neste trabalho para efeito de mapeamento de risco de colapso do solo. No entanto, os parâmetros que definem os fatores geotécnicos não requerem detalhamento ou teste para determinação exigindo apenas as observações de campo. Além disto, os fatores geotécnicos podem ser usados em um modelo se suas determinações não exigirem testes mais aprofundados. Em relação às condições ambientais do modelo proposto, estas foram divididas em condições climáticas e categorias de vegetação que podem ser avaliadas. As categorias climáticas e de vegetação e suas classificações são mostradas na **Tabela 9**.

**Tabela 9. Fatores ambientais para a classificação do potencial de colapso do solo**

Fator Ambiental	Termo Linguístico				Referências
	A	B	C	D	
Condição Climática	Árido	Semi-Árido	Moderado	Outro	Owens and Rollins (1990), Houston and Houston (1997), Beckwith (1995), Derbtshire et al (1995).
Vegetação	Sem Cobertura	Cobertura Baixa	Alta Cobertura/ Árvores Plantadas	Florestas	Gray and Ohashi (1983), Mather and Gray (1990), Gray (1995).
A – Muito Alto, B- Alto, C-Médio, D-Baixo.					

**Fonte: Momeni et al. (2012)**

As principais metodologias internacionais e brasileiras de mapeamento geotécnico são apresentadas em síntese na **Tabela 10**.

Tabela 10. Descrição sumária das principais metodologias de mapeamento geotécnico internacionais e brasileiros

Metodologia	Níveis de classificação	Escala	Objetivos	Características	Vantagens	Desvantagens
(1) <b>ESPAÑHOLA</b>	Mapas Geotécnicos gerais	1:200.000	Planejamento nacional e regional	-Fatores: litológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e geotécnicos -Análise: obedecer a critérios pré-estabelecidos	Sua estrutura básica pode servir se base para outras metodologias	Sua aplicação na integra torna-se impossível face as características intrínsecas que apresenta
	Mapas Geotécnicos básicos	1:25.000	Planejamento regional, urbano e turístico	-Dados geomecânicos e físicos dos solos e rochas -Limites de variação -Previsão de comportamento		
	Mapas Geotécnicos seletivos	1:5.000	Planejamento de zonas urbanas, turísticas, industriais e áreas de risco natural	-Dados de solo (capacidade de carga, resistência a deformação e variações em função do tipo)		
	Mapas Geotécnicos específicos	1:2.000	Projetos de execução de obras urbanas e industriais	-Projetos e execuções de obras urbanas e industriais		
(2) <b>FRANCESA</b>	Mapa Geotécnico regional	< 1:100.000	Planejamento regional	-Fatores normais -Base para as cartas sintéticas (cartas geológicas e outras)	Aplicação sugerida para áreas pequenas e grandes	Determinação de áreas, limites, classificação e símbolos fica a cargo de pesquisas.
	Mapa Geotécnico local	- Metrôpoles 1:100.000 a 1:50.000 - Cidades 1:25.000 a 1: 10.000 - Fins específicos 1:10.000 a 1:5.000 - Grandes detalhes 1:1.000	Planejamento local	-Fatores especiais -Resolução de problemas individuais, como fundações -Cartas sintéticas para fundações, escavabilidade e materiais de construção		

Metodologia	Níveis de classificação	Escala	Objetivos	Características	Vantagens	Desvantagens
<b>ZERMOS</b> (Zonas expostas aos riscos de movimentação do solo e do subsolo) (2)	Desde identificação com croqui esquemático da região ou local em questão até a interpretação e prognóstico	-	Levantamento de dados do meio físico aplicados a áreas sujeitas a escorregamentos, desabamentos, situações naturais e atividades sísmicas	-Variações dos aspectos: - Topografia - Materiais inconsolidados - Substrato Rochoso - Hidrogeologia - Movimentos dos terrenos	Fichas técnicas de cadastramento de dados são importantes em áreas de riscos naturais	-Metodologia desenvolvida para áreas específicas onde ocorreram movimentos de terra, daí a necessidade de mapeamentos já realizados nestas áreas em escalas menores que 1:10.000 -Alto custo
<b>PUCE</b> (Patterns units, components and evaluation) (2)	Província	≥ 1: 25.000 ou outros	Racionalização e unificação de procedimentos de investigação geotécnica para planejamento da ocupação do meio físico	-Fatores Geológicos com utilização de mapas geológicos; fotos aéreas ou imagens de satélite -Aplicação: túneis e obras gerais -Paisagem; -Características básicas do solo, vegetação e rochas - Padrão de drenagem -Utilização de fotos aéreas e imagens de satélite -Aplicação: estradas, pontes; terraplanagens; aeroportos; etc.	Metodologia mais completa para análise do meio físico	Metodologia muito abrangente
	Padrão do terreno	≥ 1:250.000				
	Unidades do terreno	≥ 1:25.000 Com diversas associações				
	Componentes do terreno	≥ 1:2.500		-Tipos de talude - Litologia - Solo -Associações - Utilização de medidas "in situ"; laboratoriais e estimadas -Aplicação: estradas e aeroportos		

Metodologia	Níveis de classificação	Escala	Objetivos	Características	Vantagens	Desvantagens
<b>IAEG</b> (International Association of Engineering Geology, 1976) (2)	Mapas analíticos	Grande: >1:10.000  Média 1:100.000 a 1:10.000  Pequena < 1: 100.000	-Uniformização e adequação na maioria dos países com informações compreensíveis por usuários profissionais -Realização adequada em terrenos técnicos e socioeconômicos	Informações ou avaliações dos componentes do ambiente geológico	Ter finalidades especiais e multifuncionalidade (informações gerais)	-Muitas condições: . Determinar a escala e documento desejado; . Conciliar o número de informações com a exigência da metodologia . Ordenar os componentes do meio físico, os lençóis e atributos interessantes . Definir como obter os seus atributos e classes
	Mapas Compreensivos			-Condições geotécnicas sem interpretação		
	Mapas auxiliares			-Zoneamento geotécnico com interpretação e delimitação da área		
	Mapas complementares			-Mapas de documentações		
<b>EESC/USP</b> (3)	Mapas das condições geotécnicas	Geral < 1:100.000	Privilegiar meios alternativos para obtenção de atributos do meio físico mais adequados às condições sócio econômicas brasileiras à extensão territorial e baixa densidade de informações pré-existentes, contudo sem prejuízo da qualidade das informações	-Atributos do meio físico sem zoneamento	Redução de custo	-Não necessariamente consideram a análise dos processos geológicos instalados e/ou potenciais para a elaboração dos cartogramas.
	Mapas de zoneamento geotécnico geral	Regional > 1: 50.000		Zoneamento através de áreas similares sem estabelecer formas específicas de ocupação		
	Mapas de zoneamento geotécnico específico ou carta de aptidão	Regional > 1: 50.000		-Finalidade única		
<b>TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO</b> (4)	Regional multifinalidade	Sistemas e unidades de terreno: ≤1:50.000  Elementos de terreno: ≥1:50.000	Caracterização e planejamento regional	Zoneamento do terreno voltado para identificação de solos	Técnica aplicável a qualquer metodologia	-
	Regional finalidade específica			Atividade agrícola Análise regional de riscos Avaliação para implantação de obras lineares		
	Trabalhos locais			Avaliação do terreno para fins de prospecção de matérias de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos		

Metodologia	Níveis de classificação	Escala	Objetivos	Características	Vantagens	Desvantagens
IPT (5)	Mapa preliminar (esboço geotécnico)	1:5.000 a 1:25.000	Levantamento preliminar	Identificação dos problemas existentes ou esperados Compilação dos dados	-	-Os mapas apresentam um número relativamente baixo de unidades geotécnicas  -Não apresentam quantificação de parâmetros por meio de ensaios de laboratório.  -Em geral, apenas uma carta geotécnica é apresentada ao final dos trabalhos.
	Mapas temáticos (dirigidos)		Investigação orientada	Mapeamento desses fatores Definição das escalas de trabalho		
	Unidades geotécnicas		Compartimentação final	Análise integrada dos fatores mapeados Delimitação dos terrenos com comportamento homogêneo durante o uso e ocupação		
	Diretrizes para uso do solo		Análise das medidas de controle	Levantamento das práticas e técnicas de implantação e manutenção do uso do solo Preposição de medidas preventivas e corretivas		
	Carta geotécnica		Apresentação	Representação ortográfica e fábula em linguagens adequada ao usuário		
DETALHAMENTO PROGRESSIVO (6)	Etapa Geral	1:50.000 a 1:25.000	Avaliações geotécnicas em áreas urbanas e obras que necessitam priorizar locais para aplicação de recursos mais detalhados em seu mapeamento, inclusive na identificação aprofundada das susceptibilidades a determinados processos de dinâmica superficial.	Integração de dados de levantamentos realizados com eventuais complementações a permitir a indicação do comportamento colapsível e outros atributos geotécnicos.	Compatibilidade entre volume de dados, tipos de informações, tamanho da área e escala detalhada nas três etapas	-
	Etapa intermediária	1:25.000 a 1: 10.000		Ensaio laboratoriais complementares de áreas selecionadas da etapa geral.		
	Etapa de Detalhes	1:5.000		Concentração de informações correlacionadas a tópicos específicos.		

Metodologia	Níveis de classificação	Escala	Objetivos	Características	Vantagens	Desvantagens
TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY  (7)	-	-	O método usa uma ramificação de decisões com termos lingüísticos e permite que o engenheiro possa investigar o efeito da incerteza do parâmetro na colapsibilidade computacional do solo em um maneira sistemática.	Três categorias de fatores que afetam a colapsibilidade do solo (características geotécnicas, geológicas e ambientais) foram estabelecidos (Tabela 8). Para cada categoria, fatores ou subcategorias foram avaliados em uma ramificação de decisões com base em uma revisão de literatura e opinião de especialistas.	Os parâmetros que definem os fatores geotécnicos não requerem detalhamento ou teste para determinação; eles exigem apenas as observações de campo. Além disto, os fatores geotécnicos podem ser usados em um modelo se suas determinações não exigirem testes mais aprofundados.	Sistema computacional aparentemente complexo

### Fontes

- (1) = Zuquette e Gandolfi (1988). Apud ANDRADE (2005)
- (2) = ZUQUETTE E NAKAZANA (1998); BARINSON (1995). Apud ANDRADE (2005)
- (3) = ZUQUETTE (1987 e 1993), apud ANDRADE (2005)
- (4) = LOLLO (1994, 1995 e 1996)
- (5) = PRANDINI et al., 1980; AVILA et al., 1987; FREITAS et al., 1990 Apud ZAINÉ (2000)
- (6) = CERRI *et al.*, 1996; ZAINÉ (2000).
- (7) = Momeni et al (2012)

Em trabalho desenvolvido no município de Casa Branca- SP, a compartimentação fisiográfica se mostra uma técnica interessante no planejamento ambiental e consiste na geração de um produto cartográfico seccionado em várias unidades da paisagem que resumem características de relevo, geologia e uso da terra (AMARAL et al., 2015).

O uso da compartimentação fisiográfica, pelo método de Zaine (2011), se mostrou adequado para integração das informações fisiográficas e geológicas, em trabalho desenvolvido nos municípios de Espírito Santo do Pinhal e Santo Antônio do Jardim-SP, possibilitando a elaboração de um único produto cartográfico, sem a necessidade de preparar mapas geológicos e geomorfológicos na mesma escala, permitindo a análise integrada dessas informações mesmo com produtos cartográficos em escalas regionais (CHAVES et al., 2015).

A respeito dos riscos decorrentes do fenômeno da colapsividade, Oliveira (2002) esclarece que as informações obtidas na avaliação dos mesmos fundamentam a elaboração de medidas para eliminar ou reduzir os riscos instalados e ainda para evitar a instalação de novas áreas de risco. Para tanto, elaborou uma carta de cadastramento de risco de colapso de solos e, a partir desta, a elaboração de uma carta de zoneamento de risco, constituindo-se em importantes ferramentas para projetos e obras de ocupação, além de fornecerem subsídios para elaboração de planos de seguro de edificações.

Cartas de suscetibilidade de solos colapsíveis e expansivos do município de Petrolina-PE, foram apresentadas por Silva (2003). Estas cartas foram elaboradas de acordo com metodologia fundamentada na superposição de cartas de suscetibilidade com base em mapas temáticos de geologia, de pedologia e de clima em escalas pequenas (1:500.000 a 1:100.000).

O Sistema de Informações Geográficas dos Solos Expansivos e Colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC-PE) utilizou os mais recentes levantamentos climatológico, pedológico e geológico classificando as unidades de mapeamento de cada condicionante em três níveis de suscetibilidade, ou seja, alto, médio e baixo, gerando duas cartas de zoneamento (AMORIM,2004).

Andrade (2005) cita que em um trabalho de mapeamento geotécnico no município de Uberlândia-MG, mais especificamente um mapa de materiais

inconsolidados, na escala 1:25.000, foram possíveis identificar nove unidades geotécnicas e todas elas denotam características colapsíveis. No referido trabalho, foram avaliados os seguintes atributos dos materiais de cobertura: gênese, tipo, textura, espessura, análise dos resultados de sondagem a percussão, ensaios de campo e de laboratório.

Oliveira e Lollo (2001), apud Lollo (2012), em trabalho sobre zoneamento dos materiais colapsíveis em área urbana de Ilha Solteira, estabeleceram critérios de identificação de materiais inconsolidados através de landforms. Os elementos de terreno identificados mostraram uma correlação entre perfis de materiais inconsolidados arenosos e porosos com espessuras que ultrapassam 20 metros de profundidade e o comportamento colapsível destes solos localizados nos topos de colinas amplas e suave onduladas.

Segundo Lollo (2012), a utilização da cartografia de materiais colapsíveis é uma das formas mais eficazes de prover informações sobre a distribuição espacial destes materiais. Considerando que, a cartografia aplicada a colapsividade de solos, fornece informações importantes para um projeto construtivo, no sentido de mitigar os danos causados por este tipo de fenômeno e, assim dependendo da disponibilidade e escala de mapeamento, os solos colapsíveis podem ser cartografados com diferentes abordagens. Em relação as escalas das cartas de suscetibilidade ao colapso de solos, de acordo com o mesmo autor, estas podem ser consideradas médias (1:100.000 à 1: 50.000) para questões de planejamento regional de municípios, com base em levantamento de campo, ensaios de caracterização, e critérios expeditos de identificação destes solos, semi-detulhe (1:50.000 à 125.000) para esta mesma abordagem, quando contemplada com informações de sondagens de investigação de subsuperfície e para escalas de detalhe (maiores que 1:5.000), podem ser geradas cartas de risco, considerando-se dados de ensaios de campo e condicionantes antrópicos, tais como características das redes de água e esgoto e projetos de fundações utilizadas na área.

Christ (2014) apresentou o mapa de suscetibilidade ao colapso dos solos da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição-SC, baseado em um mapa geotécnico pré-definido e ensaios laboratoriais, principalmente edométricos.

Margoto e Aparecido Jr. (2016) propõem estudos de caracterização e mapeamento dos solos colapsíveis do perímetro urbano de Campos Gerais-MG, através da identificação das unidades pedológicas e geológicas, complementadas com análises laboratoriais diversas.

Embora existam inúmeros trabalhos de mapeamento na área de geotecnia, os aplicados a solos colapsíveis especificamente não são tantos assim. Por outro lado, há uma grande contribuição para efeito de avaliação ao fenômeno da colapsividade, através de análises de resultados laboratoriais ou de campo. Entretanto, uma avaliação baseada apenas em ensaios tecnológicos pode dar no máximo uma denotação pontual, daí a importância dos mapas geotécnicos aplicados ao fenômeno da colapsividade. A **Tabela 11** apresenta vários trabalhos, que se não específicos aos solos colapsíveis, apresentam de alguma forma, informações sobre eles.

**Tabela 11. Trabalhos relacionados aos solos colapsíveis.**

<b>Autor</b>	<b>Localidade</b>	<b>Técnica cartográfica utilizada</b>	<b>Escala de Trabalho</b>	<b>Atributos Considerados</b>	<b>Observações</b>
OLIVEIRA (2000)	Ilha Solteira, SP	Técnica de avaliação do terreno	1:5.000	Cadastro de risco de colapso e zoneamento de risco ao colapso	A avaliação de riscos decorrentes a colapsividade, fundamental a elaboração de medidas para eliminar ou reduzir riscos instalados e ainda evitar novas áreas de risco.
ZAINE (2000)	Rio Claro, SP	Método do detalhamento progressivo	1:25.000 a 1:10.000	Caracterização geotécnica generalizada, inclusive com informações sobre o fenômeno da colapsividade.	Boa compatibilidade entre o volume de dados, informações, área e escala de trabalho.
SILVA (2003)	Petrolina, PE	Superposição de cartas de susceptibilidades	1:100.000	Susceptibilidade aos fenômenos de colapso e expansibilidade de solos.	Escala muito pequena.

<b>Autor</b>	<b>Localidade</b>	<b>Técnica cartográfica utilizada</b>	<b>Escala de Trabalho</b>	<b>Atributos Considerados</b>	<b>Observações</b>
AMORIM (2004)	Estado de Pernambuco	Geoinformação aplicada	1:500.000	Susceptibilidade aos fenômenos de colapso e expansibilidade de solos.	Escala muito pequena.
ANDRADE (2005)	Uberlândia, MG	Utilização de mapa de materiais inconsolidados pré-existentes em escala 1:100.000	1:25.000	Propriedades gerais dos materiais inconsolidados com denotações de características colapsíveis	Facilidade em função de mapa pré-existente da área de estudo.
EL MAY et al (2010)	Túnis, Tunísia.	Superposição de imagens de imagens georreferenciadas	1:25.000	Movimento de massas; zonas de alagamentos e riscos de colapso	Permite uma avaliação de terreno bem-sucedida para efeito construtivo e de planejamento.
MOMENI et al. (2012)	Kerman- Irã	Teoria dos conjuntos Fuzzy	-	Susceptibilidade ao colapso de solos	Exige um sistema computacional específico
CHRIST (2014)	Lagoa da Conceição, SC	Utilização de mapa geotécnico pré-definido	1:150.000	Susceptibilidade ao colapso de solos	Facilidade em função de mapa pré-existente da área de estudo.  Escala muito pequena.
MARGOTO E APARECIDO JR (2016)	Campos Gerais, MG	Proposta de criação de um mapa de riscos baseados em ensaios de laboratório	-	Susceptibilidade ao colapso de solos.	Trabalho Simples.  Muito generalizado

Analisadas as propostas aqui citadas de mapeamento geotécnico, em especial aquelas voltadas para o fenômeno da colapsividade, adotou-se para este trabalho a metodologia baseada no detalhamento progressivo utilizando –se de mapeamento em campo, técnicas cartográficas como de geoinformação, mapas temáticos pré-existentes, técnicas laboratoriais de ensaios e técnicas de avaliação de terrenos. Como produtos finais, a utilização desta metodologia permitiu a elaboração de cartas geotécnicas, em escalas compatíveis para as três etapas do

detalhamento progressivo, com a geração de unidades geológico-geotécnicas, que através de uma integralização de dados, contemplam os aspectos morfométricos (declividade, hipsometria, etc.), o substrato rochoso, a cobertura de materiais inconsolidados e a análise de resultados de ensaios laboratoriais voltados para a avaliação do potencial de colapsividade dos solos do perímetro urbano de Piracicaba, tomado como área de estudo.

### **3.7. Método do Detalhamento Progressivo**

Cerri et al. (1996) apresenta um modelo de mapeamento geológico-geotécnico denominado “Método do Detalhamento Progressivo”. Este método apresenta três etapas de desenvolvimento dos trabalhos: 1ª Etapa (Etapa Geral) - Mapeamento em escala 1:50.000 ou 1:25000 a partir da integração de dados de levantamentos realizados em diferentes escalas e com eventuais complementações; 2ª Etapa (Etapa Intermediária) - Mapeamento em escala 1:25.000 ou 1:10.000 em áreas selecionadas na 1ª etapa; 3ª Etapa (Etapa de Detalhe) - Mapeamento em escala 1:5.000 em locais concentração de informações correlacionadas a tópicos específicos.

A eficácia do método de detalhamento progressivo proposta por Cerri et al. (1996) foi analisada por Zaine (2000) em seu trabalho de mapeamento geológico-geotécnico por meio deste método em ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro-SP. O autor verifica boa compatibilidade entre o volume de dados, tipos de informações, tamanho da área e escala de trabalhos nas três etapas e assinala que o método evita inferências e generalização de algumas informações, que podem incorrer em erros, quantificadas e de análises laboratoriais para uma escala geral e de semi-detálhe. O estudo relacionado as etapas geral e de semi-detálhe permite a indicação do comportamento colapsível do solo e outros aspectos geotécnicos.

Sobreira e Souza (2012) abordaram práticas de cartografia geotécnica com enfoque no planejamento urbano, partindo da conceituação de suscetibilidade e outros aspectos pertinentes e propuseram procedimentos para a elaboração de produtos cartográficos de acordo com o detalhamento progressivo e citam que cartas de suscetibilidade devem apresentar escalas compreendidas entre 1:25.000 e

1:15.000. Segundo estes autores, o método do detalhamento progressivo pode ser adaptado nas práticas de cartografia geotécnica para planejamento urbano, determinando de forma eficaz os estudos mais gerais e regionais através destas cartas de suscetibilidade que devem ser utilizadas em planos diretores, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos-econômicos, etc. Já para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização e cartas de risco geológico, estes autores propõem a utilização de escalas maiores, entre 1:10.000 e 1:5.000 no primeiro caso e maior que 1:2.000 para a segunda situação.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do perímetro urbano de Piracicaba corresponde a 226,95 km<sup>2</sup>. A sua caracterização baseia-se no Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos do Município de Piracicaba, contratado pelo SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE, 2011), não se restringindo somente a este trabalho, havendo abordagens de outras fontes bibliográficas.

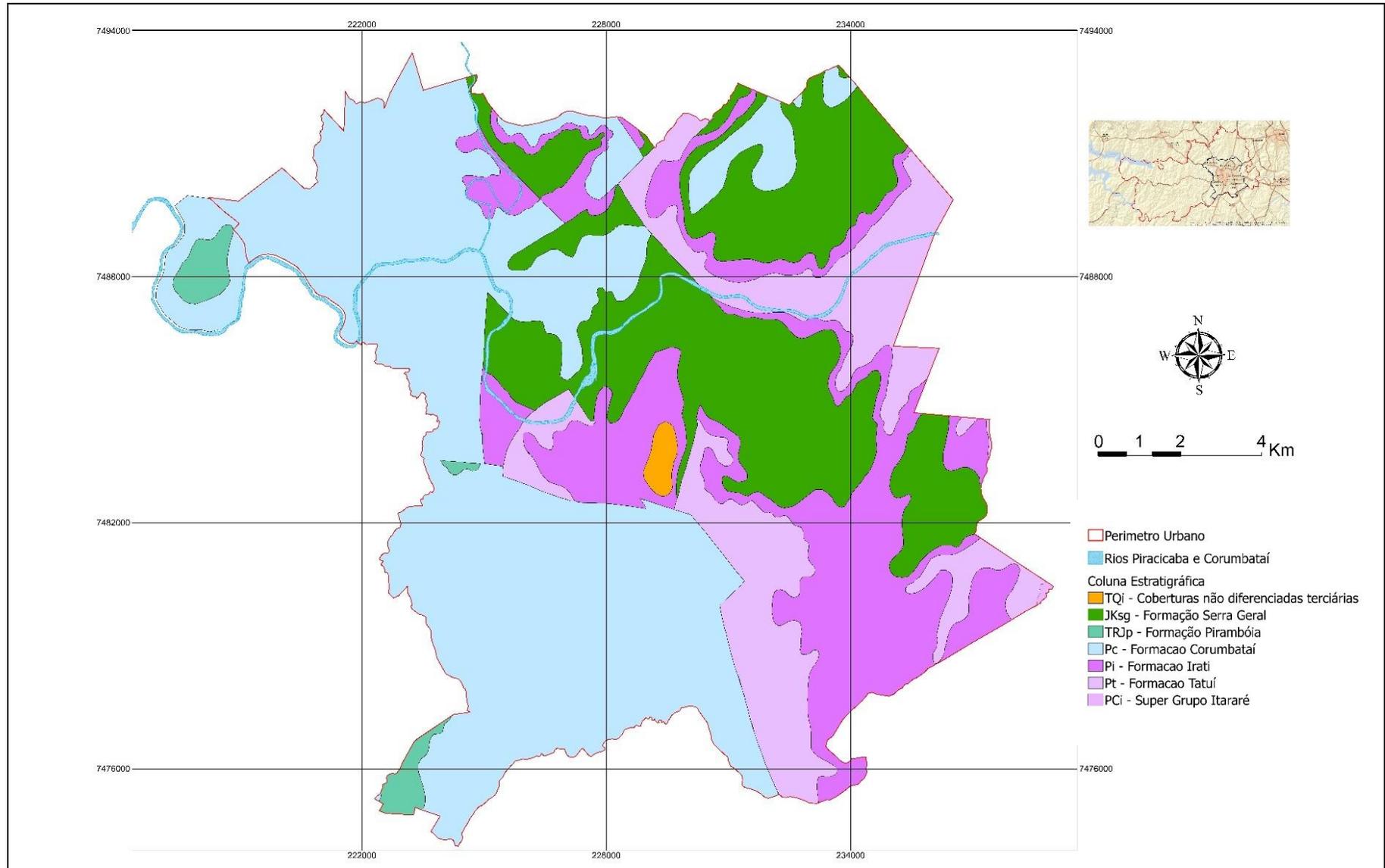
### 4.1. Geologia

A região de Piracicaba apresenta uma diversificação muito grande de tipos litológicos, pois é contemplada com formações rochosas de idade paleozoica, mesozoica e cenozoica (terciário e coberturas aluvionares do quaternário).

A complexidade geológica advém não somente da diversificação litológica, mas também da grande presença de estruturas geológicas diversas.

As unidades geológicas presentes na área de estudo são ilustradas na **Figura 20** que referencia reprodução do Mapa Geológico da Folha de Piracicaba em escala 1:100.000 (DNPM, 1984);

A coluna estratigráfica-litológica presente na área do município de Piracicaba está apresentada na **Tabela 12**.



**Figura 20. Mapa Geológico do Perímetro Urbano de Piracicaba (modificado de DNPM, 1984)**

**Tabela 12. Coluna estratigráfica – litológica da área urbana de Piracicaba (fonte: DNPM, 1984)**

Idade	Formação	Símbolo	Litologia
= Terciário	Coberturas não diferenciadas correlatas a Formação Rio Claro	TQ	Areias, cascalho e argila Areias, silte e argilas
= Cretáceo	Formação Serra Geral	JKsg	Intrusivas básicas: soleiras e diques de diabásio
= Jurássico	Formação Pirambóia	TRJp	Arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas.
= Triássico			
= Permocarbonífero	Formação. Corumbataí	Pc	Argilitos, folhelhos e siltitos com intercalações de bancos carbonáticos, silicíticos, e camadas de arenitos finos
	Formação Irati	Pi	Siltitos, argilitos e folhelhos siltosos e folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários, silicificados e restritos níveis conglomeráticos.
	Formação Tatuí	Pt	Siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários e sílex
	Super Grupo Itararé	PCi	Arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos, tillitos, siltitos folhelhos ritmitos, raras camadas de carvão.

#### 4.1.1. Super Grupo Itararé (CPi)

Esta unidade é constituída por sedimentos clásticos (arenitos, diamictitos, ritmitos, siltitos, argilitos e lamitos), de origem glacial e periglacial. Apresenta sedimentos de coloração cinza a amarelada e estruturas dos tipos estratificada de pequeno porte e maciça.

Localmente, as rochas do Subgrupo Itararé são formadas por arenitos de granulação variada, além de conglomerados e sedimentos mais finos representados por siltitos, folhelhos e ritmitos.

#### **4.1.2. Formação Tatuí (Pt)**

A Formação Tatuí ocorre na forma de uma faixa estreita acompanhando a Formação Irati, com maior presença registrada em toda região leste de Piracicaba, de norte a sul do município. Esta unidade é constituída de depósitos marinhos costeiros com predomínio de siltitos, arenitos finos em parte concrecionados e, em menor quantidade, camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex. Os sedimentos apresentam estratificação plano-paralela, com coloração avermelhada na porção inferior e esverdeada na porção superior. A base do pacote sedimentar apresenta relações de discordância com o Subgrupo Itararé.

#### **4.1.3. Formação Irati (Pi)**

A Formação Irati ocorre numa faixa estreita recobrando a Formação Tatuí, sendo constituída por folhelhos betuminosos, folhelhos pretos, siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos de granulação fina a grossa e conglomerados que podem ocorrer na base da formação.

#### **4.1.4. Formação Corumbataí (Pc)**

Esta formação é constituída, em sua parte inferior, por argilitos, folhelhos e siltitos de cor cinza, e em sua parte superior por argilitos, folhelhos e siltitos de arroxeados a vermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silexites e camadas de arenitos finos. Nesta unidade observam-se estruturas sedimentares como estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo, estratificação rítmica, marcas onduladas e fraturas de ressecamento. A Formação Corumbataí caracteriza-se por ser fossilífera, sendo numerosas as ocorrências de restos de animais e vegetais em suas camadas, com frequentes escamas e dentes de peixe. Ocorrem afloramentos rochosos expressivos que compõe a estrada do Bongue, conforme ilustração da **Figura 21**.



**Figura 21. Afloramento da Fm. Corumbataí na estrada do Bongue**

#### **4.1.5. Formação Pirambóia**

Esta formação geológica embora predominante no município de Piracicaba, ao lado das rochas da Formação Corumbataí, no perímetro urbano restringe-se à duas pequenas áreas nas franjas da área. Constitui-se de arenitos com granulação média a muito fina, com matriz silto-argilosa, intercalações de camadas de argilitos e siltitos e raras intercalações areno-conglomeráticas.

#### **4.1.6. Formação Serra Geral**

A Formação Serra Geral compreende as rochas efusivas e as rochas intrusivas básicas tabulares e as rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral. Localmente ocorrem as rochas intrusivas básicas que aparecem sob a forma de diques e sills de diabásio.

#### **4.1.7. Coberturas Correlatas à Formação Rio Claro**

Estes depósitos correspondem aos materiais de cobertura inconsolidados, encontrados nos atuais divisores d'água e suas encostas, com espessuras e composições variáveis nas Bacias. Em geral, são mais desenvolvidos nos relevos mais aplainados e nos altos topográficos. São constituídos de materiais arenosos e lateríticos e se encontram na porção leste da área. Dos depósitos cenozóicos

estudados na Depressão periférica, mais precisamente nas bacias dos rios Corumbataí, Piracicaba, Mogi-Guaçu e Tietê, aqueles localizados no nível entre 550 e 700 metros são designados por Formação Rio Claro de acordo com Andrade e Soares (1971), apud IPT (1981). Localmente esta cobertura cenozoica, de aproximadamente 20 metros de espessura, é constituída por sedimentos arenosos e que na base por vezes conglomeráticos que se colocam nas lâminas frontais dos estratos cruzados (**Figura 22**).



**Figura 22. Aspectos estruturais da base da cobertura correlata à Fm. Rio Claro (Rod. Luís de Queiróz km 159)**

#### **4.1.8. Aluviões**

Estes depósitos são constituídos predominantemente por areias de granulação média a fina, quartzosas e bem selecionadas. Preenchem, preferencialmente, o vale do Rio Piracicaba, onde apresentam uma espessura variável de 3 a 6 metros e planícies de inundação pouco expressivas. Estes depósitos apresentam ocorrências esparsas de lentes de cascalho, constituídas predominantemente por seixos rolados silicosos em matriz areno-argilosa precariamente cimentada, que afloram na linha d'água (cota 465) como aqueles observados na margem esquerda do Rio Piracicaba, nas proximidades da foz do Rio Corumbataí.

#### 4.1.9. Aspectos Estruturais

Os destaques estruturais da área de estudo são as falhas que cortam as unidades litológicas. A unidade litológica que melhor destaca estas estruturas é a Formação Irati, haja vista que sua sucessão se dá principalmente por lâminas de folhelho escuro e dolomito claro e isto permite uma melhor visualização das perturbações tectônicas. Além disto, são constatados em alguns locais que as formações Irati e Corumbataí apresentam um nivelamento, fato este conclusivo para a caracterização de falhas. O acamamento destas duas formações é praticamente horizontal, entretanto achando-se localmente perturbado, inclusive com dobramentos, nas proximidades das intrusões de pequenos diques de diabásio e/ou pequenas falhas, como observado na **Figura 23**.



**Figura 23. Deformações observadas em afloramento da Formação Irati em contato com pequena intrusão de dique de diabásio.**

#### 4.2. Pedologia

A caracterização dos solos da área urbana de Piracicaba apresentada neste trabalho tem como base o mapa de solos elaborado para a Prefeitura Municipal de Piracicaba (ESALQ, 2019) em escala 1:20.000 com a utilização dos conceitos e legenda do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2ª Ed. 2006 (EMBRAPA-SOLOS) e alternativamente o mapa de solos elaborado pela equipe técnica do IAC - Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo na escala 1:100.000 (OLIVEIRA, 1999). Este último, embora com escala pequena, auxiliou na solução de algumas

incertezas verificadas no primeiro. A distribuição das classes de solos do perímetro urbano do município de Piracicaba pode ser observada no mapa pedológico elaborado pela ESALQ-2019 (**Figura 24**) e na **Tabela 13**.

**Tabela 13. Classes Pedológicas das unidades de mapeamento do mapa de solos do perímetro urbano de Piracicaba (ESALQ, 2019).**

Unidade	Classe Pedológica
GX	Gleissolo Háptico Distrófico ou Eutrófico típico, textura argilosa
LVA <sub>d1</sub>	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura Média
LVA <sub>d2</sub>	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura Argilosa
LV <sub>d</sub> f e LVE	Latossolo Vermelho Distroférico ou Eutrófico típico, textura argilosa ou muito argilosa
Meo	Chernossolo Ebânico Órtico típico, textura argilosa
Nve <sub>f</sub> , Nve, NV <sub>d</sub> e NV <sub>d</sub> f	Nitossolo Vermelho Eutroférico, Eutrófico, Distrófico ou Distroférico típico, textura argilosa
NX <sub>d</sub> e NX <sub>e</sub>	Nitossolo Háptico Distrófico ou Eutrófico típico, textura argilosa
Pad + RL <sub>d</sub> -	Associação Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa + Neossolo Litólico Distrófico típico
PVA <sub>d1</sub>	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura argilosa ou média/argilosa
PVA <sub>d2</sub> -	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura média/média ou arenosa/média
PVA <sub>e</sub> -	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico, textura argilosa ou média/argilosa
PV <sub>d</sub>	Argissolo Vermelho Distrófico típico, textura média/argilosa
RL <sub>d</sub> e RL <sub>e</sub>	Neossolo Litólico Distrófico ou Eutrófico típico
RY <sub>q</sub>	Neossolo Flúvico Psamítico

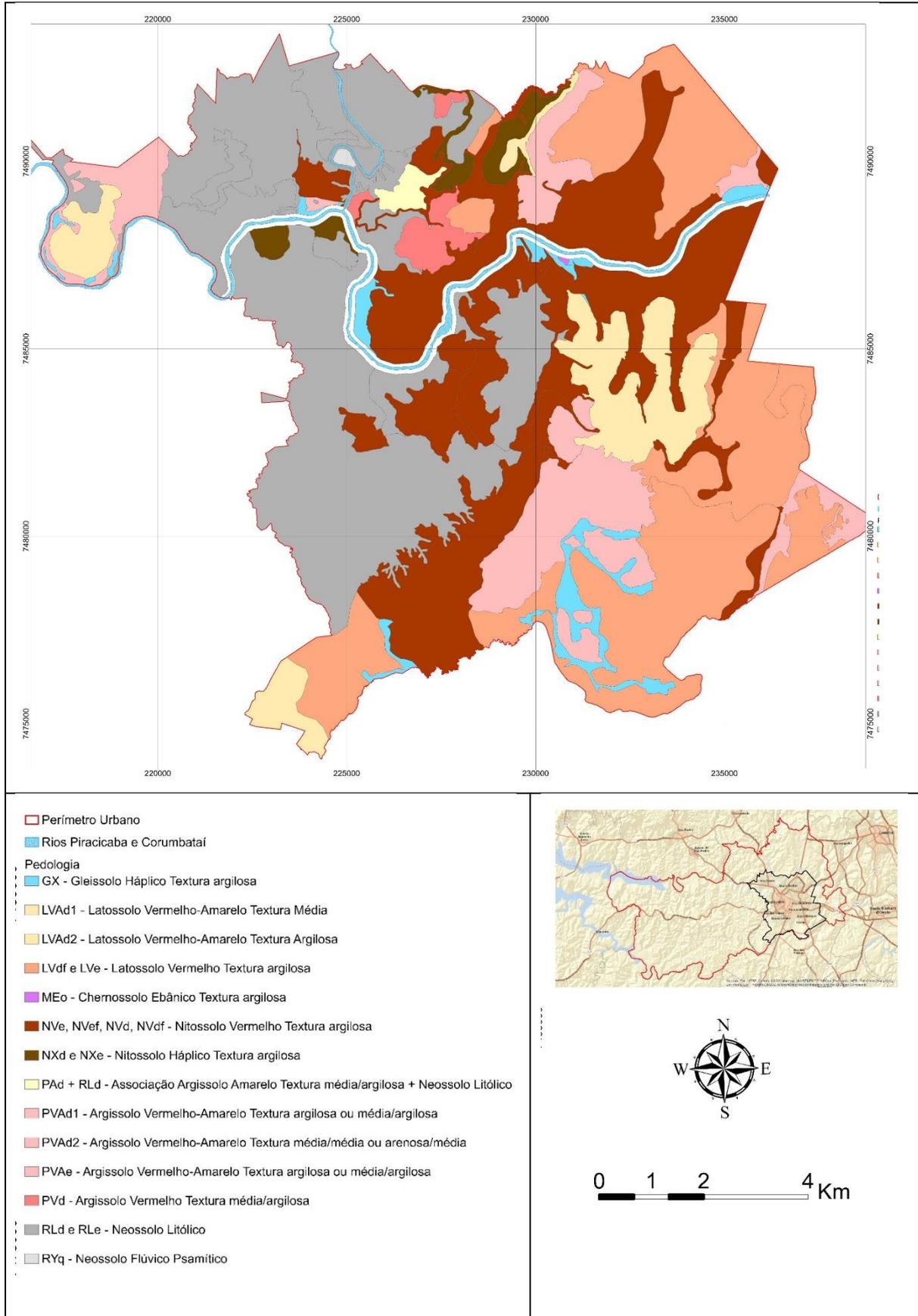


Figura 24. Mapa Pedológico da área urbana de Piracicaba (ESALQ,2019)

Como pode ser observado pela **Figura 24**, na área de estudo ocorrem a predominância de Neossolo Litólico, Argissolos em geral, Latossolos em geral e Nitossolo Vermelho. Na sequência uma descrição sucinta das principais classes pedológicas desta área:

- Neossolo Litólico – RL: são solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm, apresentando um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Regionalmente são relacionados com material subjacente de várias litologias, como arenito, siltito, argilito, folhelho e diabásio, e ocorrem geralmente em relevo ondulado dissecado ou forte ondulado com declividades superiores a 10%.
- Argissolo Vermelho Amarelo – PVA: essa classe compreende solos não hidromórficos com distinta individualização de horizontes, decorrente de acentuada diferença em textura, cor ou estrutura. Apresentam horizonte B textural e a seguinte sequência de horizontes: A, E (pode faltar), Bt e C. O horizonte B possui argila de atividade alta conjugada por saturação por bases (Na, Ca, Mg, K) baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B. Geralmente estes solos são desenvolvidos a partir de sedimentos argilosos da Formação Corumbataí, da Formação Tatuí ou Subgrupo Itararé e ocorrem em relevos suave ondulado a ondulado com declividade na ordem de 5 a 12%.
- Latossolo Vermelho – LV: são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm de superfície do solo ou de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Os latossolos vermelhos são solos com matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Regionalmente estes solos podem ser classificados em dois tipos principais:

- Latossolo Vermelho de baixo teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (<18%) que tem como origem os sedimentos relacionados às rochas do Permocarbonífero possivelmente com alguma contribuição de diabásio e que ocorrem em relevo suave ondulado de declividade predominante entre 3 e 5%;
- Latossolo Vermelho de alto teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (18 a 40%) que estão relacionados aos sills de diabásio e ocorrem em relevo suave ondulado com inclinações na ordem de 2 a 5%.

- Latossolo Vermelho Amarelo – LVA: são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm de superfície do solo ou de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Os latossolos vermelho-amarelos são classificados nessa categoria por exclusão de outros solos de cores vermelho-amarelas e amarelo-avermelhadas, que não se enquadram nas classes de solos do grupo dos latossolos. Estes solos têm como material de origem, quando de textura média, provavelmente os sedimentos da Formação Rio Claro e Formação Pirambóia e quando de textura mais argilosa, os sedimentos permocarboníferos (OLIVEIRA,1999). Ocorrem em relevo suave ondulado a aplainado com declives variando entre 3 e 5% se distribuindo entre as cotas 580 e 620 m.
- Nitossolo Vermelho – NV: são solos com 350g/kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A constituídos por material mineral que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A, com argila de atividade baixa o caráter alítico na maior parte do horizonte B, dentro de 150 cm da superfície do solo. São solos com matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (exclusive BA). Estes solos são derivados dos diabásio, bastante frequentes nos sills da região e ocorrem em relevo predominantemente ondulado a forte ondulado, com declives na ordem de 10 a 20%.

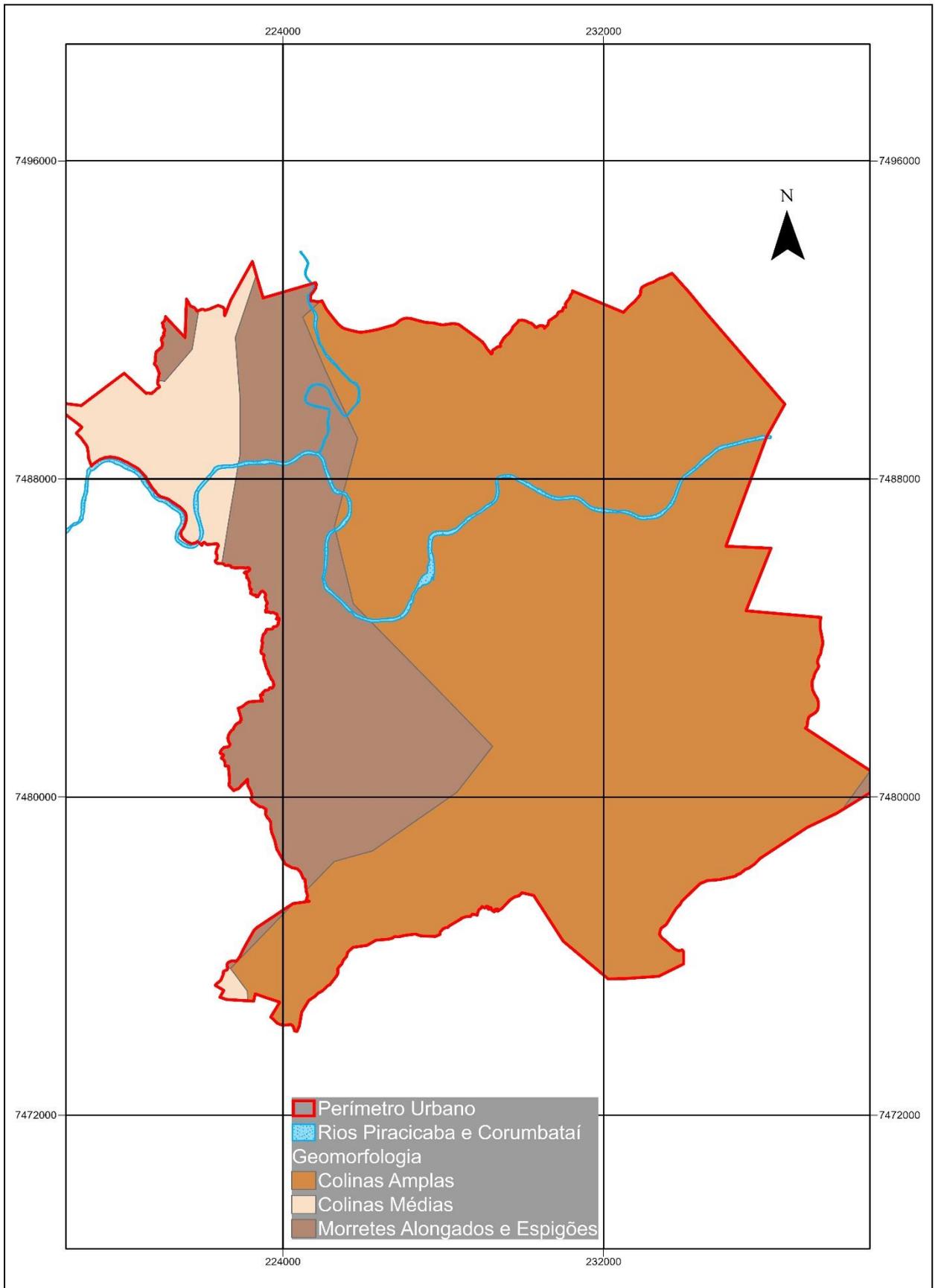
### 4.3. Geomorfologia

A importância do estudo de certas características geomorfológicas, principalmente a declividade, não obstante outras características importantes, está relacionada à dinâmica da água responsável pelo intemperismo e por boa parte dos processos pedogenéticos. A laterização é um destes processos que podem produzir solos com características colapsíveis.

Verifica-se que na área urbana de Piracicaba, de acordo com a classificação de Lemos e Santos (1996), há um predomínio de relevo suave ondulado (03 a 08%) a ondulado (08 a 20%). De forma não tão expressiva, ocorrem terrenos planos e esporadicamente porções fortes onduladas (20 a 45%) e raramente e pontualmente relevos mais acidentados (>45%).

Em relação a distribuição espacial das formas de relevo, ocorre aproximadamente as seguintes situações: na parte mais oriental da área ocorre o predomínio de colinas amplas (declividades de até 15% e amplitudes locais inferiores a 100m) com interflúvios superiores a 4 km<sup>2</sup>, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, drenagem de baixa densidade e planícies aluviais interiores restritas; na parte mais central da área de estudo há uma predominância de morrotes alongados e espigões (declividades médias a altas, acima de 15%, e amplitudes locais inferiores a 100 m) onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, drenagem de média a alta densidade e vales fechados; e em sua parte mais ocidental colinas médias onde predominam interflúvios com superfícies de 1 a 4 km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, drenagem de média a baixa densidade, vales abertos a fechados e planícies aluviais restritas. As distribuições das feições de relevo verificadas parecem corroborar com as classes de solos correspondentes em função da maturidade pedogenética provocada pela dinâmica da água.

As unidades de sistemas de relevo e as suas principais características presentes no município estão apresentadas no Mapa Geomorfológico (**Figura 25**) da área de estudo e constam na **Tabela 14**.



**Figura 25. Mapa Geomorfológico da área urbana de Piracicaba (IPT, 1981).**

**Tabela 14. Formas de relevo presentes na área urbana do município de Piracicaba e suas principais características.**

FORMAS DE RELEVO	UNIDADES HOMOGÊNEAS	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
1 – Relevos de Agradação	<b>1. Continentais</b>	
	111– Planícies Aluviais	Terrenos baixos mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações.
2 – Relevos de Degradação em Planaltos Dissecados	<b>2.1 Relevo Colinoso</b> (Predominam declividades de até 15% e amplitudes locais inferiores a 100 m)	
	212 – Colinas Amplas	Predominam interflúvios com área superior a 4 km <sup>2</sup> , topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, planícies aluviais interiores restritas.
	213 – Colinas Médias	Predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km <sup>2</sup> , topos aplainados. Vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, vales abertos a fechados, planícies aluviais restritas
	<b>2.3 Relevo de Morrotes</b> (Predominam declividades médias a altas, acima de 15%, e amplitudes locais inferiores a 100 m)	
	234 – Morrotes Alongados e Espigões	Predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média alta densidade, vales fechados.

**Fonte: Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b).**

## 5. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

A elaboração deste trabalho compreendeu quatro fases de estudo, iniciando pelo levantamento bibliográfico e compilação de documentos cartográficos (1ª fase) e na sequência, atividades pertinentes das três etapas propostas pela metodologia do detalhamento progressivo (2ª, 3ª e 4ª fases).

Aqui cabe uma ressalva, considerando-se os ensaios laboratoriais de caracterização de solos de simples execução e pouco onerosos, foi proposto neste trabalho que eles fossem realizados ainda na etapa geral do detalhamento progressivo. Da mesma forma, os dados de sondagens geotécnicas realizadas na área de estudo, por terem sido disponibilizadas pelas empresas de construção sem custo, puderam ser utilizados também na etapa geral do referido método. Para tanto, associados aos aspectos cartográficos geológico-geotécnicos, decorreu a necessidade de uma programação de ensaios geotécnicos previstos e específicos para cada uma das três etapas citadas.

Para a realização das atividades realizadas em todas as fases de estudo do trabalho, foram utilizados os recursos e as estruturas da Escola de Engenharia de Piracicaba da Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba (EEP-FUMEP), principalmente as estruturas laboratoriais: Laboratório de Solos (LABSOLO), Laboratório de Geologia (LABGEO), Laboratório de Materiais de Construção (LABCONS) e Laboratório de Informática e Geoprocessamento.

Além destas estruturas da EEP/FUMEP, contou-se ainda com o apoio das estruturas laboratoriais da ESALQ/USP e da UFSCAR.

A **Figura 26** apresenta o fluxograma de atividades pertinentes a pesquisa em suas quatro fases: levantamento bibliográfico e compilação dos documentos cartográficos, etapa geral do detalhamento progressivo, etapa intermediária do detalhamento progressivo e a etapa de detalhe do detalhamento progressivo proposto por Cerri et al. (1996).

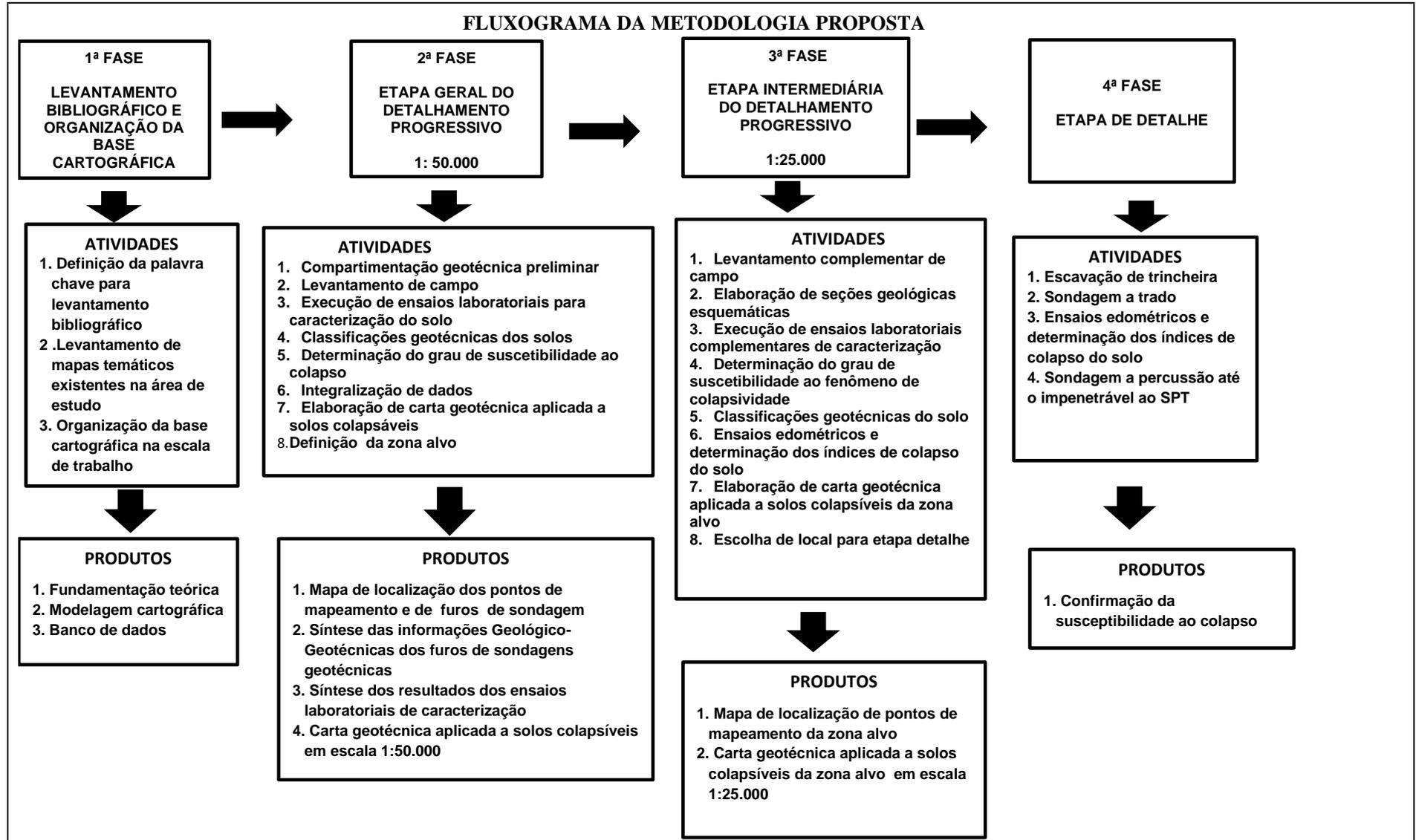


Figura 26. Fluxograma da metodologia proposta

### 5.1. 1ª Fase do Estudo: Levantamento Bibliográfico e Organização da Base Cartográfica

Na primeira fase de estudo, inicialmente foram definidas as palavras-chave para a realização do levantamento bibliográfico (solo colapsível, mapeamento geotécnico, mapeamento progressivo).

A revisão bibliográfica, baseada em livros, revistas científicas e artigos obtidos através de plataformas de pesquisas digitais como o Science Direct e Cielo, portal de revistas, bibliotecas on-line, abordou a fundamentação teórica, estado de arte dos estudos dos fenômenos da colapsividade, formulações para o desenvolvimento de mapas geotécnicos e tecnologia de ensaios laboratoriais e de campo.

Para a realização da compilação dos documentos cartográficos, necessários para obtenção de dados topográficos, geológicos e pedológicos relevantes para o desenvolvimento deste trabalho, houve a necessidade de busca e verificação do acervo de documentos cartográficos topográficos e mapas temáticos da área de estudo, tais como mapeamentos geológicos, mapeamentos pedológicos, e mapas de declividade. Foram analisadas as seguintes documentações cartográficas:

- Planta do município: Loteamento e Abairramento, em escala 1:20.000 do Instituto de Pesquisa e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP,2018);
- Folha topográfica em escala 1:50.000: SF-23-M-III-2 (IBGE,1969);
- Folhas topográficas em escala 1:10.000: SF-23-Y-A-IV-2-SO-A, SF-23-Y-A-IV-2-SO-B, SF-23-Y-A-IV-2-SE-A, SF-23-Y-A-IV-2-SO-C, SF-23-Y-A-IV-2-SO-D, SF-23-Y-A-IV-2-SE-C, SF-23-Y-A-IV-2-SO-E, SF-23-Y-A-IV-2-SO-F, SF-23-Y-A-IV-2-SE-E, SF-23-Y-A-IV-4-NO-A, SF-23-Y-A-IV-4-NO-B, SF-23-Y-A-IV-4-NE-A, SF-23-Y-A-IV-4-NO-D, SF-23-Y-A-IV-4-NE-C (IGC, 1979);
- Mapa Geológico da Folha de Piracicaba em escala 1:100.000 (DNPM, 1984), que serviu como base auxiliar, entretanto não a única, para a determinação do substrato rochoso;
- Mapa Geológico do Canal Hidroviário do trecho Barragem de Americana a Piracicaba em escala 1:25.000 e Mapa Geológico do

Canal Hidroviário do Rio Piracicaba do trecho Piracicaba a Santa Maria da Serra em escala 1:25.000 (DNPV, 1974);

- Mapa Geológico com localização de sondagens e áreas de empréstimo de material para aterro do Terminal Hidro-Rodo-Ferroviário de Piracicaba em escala 1:10.000 (PORTOBRÁS, 1976);
- Mapa Geológico da folha de Capivari em escala 1:50.000 (UNESP/DAEE, 1980);
- Mapa Geológico da Folha SF-23-Y-A-IV em escala 1:100.000 (CPRM, 2008);
- Mapa do Substrato Rochoso da Folha de Piracicaba em escala 1:100.000 (PEJON, 1992);
- Mapa Pedológico Semi-detalhado da folha de Piracicaba em escala 1:100.000 (IAC, 1989);
- Mapa Pedológico do Perímetro Urbano de Piracicaba em escala 1:20.000 (ESALQ, 2019);
- Mapa de Declividade do Perímetro Urbano de Piracicaba em escala 1:20.000 (ESALQ, 2019);
- Mapa Hipsométrico do Perímetro Urbano de Piracicaba em escala 1:20.000 (ESALQ, 2019); e
- Além destes documentos cartográficos também foi analisado, para efeito corroborativo, o mapa geológico-geotécnico na escala 1: 25.000 do perímetro urbano de Piracicaba, implantado com ótica voltada para os serviços de perfurabilidade de gasodutos até a profundidade de 1,5m (COMGÁS, 2013).

Nos procedimentos de análise dos mapas temáticos de geologia e pedologia foram detectadas algumas incongruências entre eles, sendo que a resolução destes conflitos pode ser sanada através de observações em campo e ajustes com auxílio de interpretação de fotos aéreas.

Como produtos obtidos nesta primeira fase de estudo temos a elaboração do texto de revisão bibliográfica que refletiu o atual estado de arte das metodologias de avaliação de solos colapsíveis, a elaboração de um banco de dados e a modelagem de cartas geológico-geotécnicas, principalmente as aplicadas aos solos colapsíveis.

## 5.2. 2ª Fase de Estudo: Etapa Geral do Detalhamento Progressivo

Para a segunda fase, que corresponde a primeira etapa do detalhamento progressivo (etapa geral), foram contempladas as seguintes atividades:

- Compartimentação geotécnica preliminar de unidades geológico-geotécnicas, obtidas através da análise integrada realizada com verificação de imagens aéreas da área de estudo, de observações de mapas temáticos (declividade, hipsometria, geologia e pedologia) e informações sistematizadas de sondagens geotécnicas executadas na área de estudo;
- Levantamento de campo para caracterização, principalmente perfis de alteração de solo da área de estudo. Foram buscados locais como escavações, afloramentos naturais ou de retaludamento e trincheiras, para efeito de mapeamento e coleta de amostras;
- Execução de ensaios laboratoriais para caracterização do solo (índices físicos, índices de consistência, granulometria, e estudo de compactação);
- Classificação granulométrica e textural baseada nos resultados dos ensaios laboratoriais descritos anteriormente;
- Classificação unificada e a classificação rodoviária. Ressalva deve ser dada em relação as classificações unificada e rodoviária, pois sabidamente solos entendidos como colapsíveis podem apresentar várias destas classificações como já abordado anteriormente, sendo que aqui estas classificações são apresentadas com o intuito de apenas tentar uma correlação regional entre solos colapsíveis e as referidas classificações;
- Determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade, de acordo com alguns critérios propostos por vários autores, e apresentados na **Tabela 5** da página 52 como Priklonskij (1952), Miheev (1962), FEDA (1966), Andrei e Athanasiu (1979), Zuquette (1993), Ayadat e Hanna (2012), Vilar e Rodrigues (2015) e Lommler e Bandini (2015);
- Integralização da compartimentação preliminar (declividade, hipsometria, geologia, pedologia e informações obtidas nas sondagens geotécnicas) com a análise dos aspectos geotécnicos observados nos ensaios laboratoriais, dando ênfase na interpretação de unidades com maior suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade, gerando assim as unidades geológico-geotécnicas definitivas;

- Elaboração de carta geológico-geotécnica em escala 1:50.000 voltada para a possibilidade de ocorrência ao fenômeno da colapsividade de solos, tendo como base cartográfica a Planta do município- Loteamento e Abairramento, em escala 1:20.000 do Instituto de Pesquisa e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP,2018); e
- Definição de uma zona alvo para o prosseguimento do detalhamento progressivo em sua etapa intermediária. Esta área contempla solos que apresentaram maior grau de suscetibilidade aos fenômenos de colapsividade.

### **5.2.1. Compartimentação Geotécnica Preliminar**

A primeira atividade realizada nesta fase dos trabalhos foi a elaboração de uma compartimentação geotécnica preliminar. Esta foi baseada em fotointerpretação, informações morfométricas de declividade e hipsometria obtidas através de programas específicos como o Quantum GIS e o ArcGIS, informações obtidas em análise de mapas geológicos e pedológicos existentes para o conhecimento do substrato rochoso (unidade litológica) e da classe pedológica e análise das informações obtidas em furos de sondagem geotécnica. Desta forma, a compartimentação preliminar realizada representa o esboço da carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis em áreas urbanas e seguiu os procedimentos descritos na sequência a seguir.

Inicialmente foram analisadas imagens de satélite de alta resolução da área urbana do município de Piracicaba visualizadas pelo software Google Earth a fim de auxiliar nos trabalhos desta compartimentação preliminar.

Na sequência, foram elaborados os mapas de declividade e de hipsometria da área de estudo a partir dos dados obtidos através do Modelo Digital de Elevação-DEM- da CATI -Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (CIAGRO, 2016).

Sistematização de informações obtidas através de sondagens geotécnicas executadas na área de estudo: foram obtidos, junto as empresas de construção de Piracicaba, aproximadamente 900 perfis de furos de sondagem a percussão além de alguns de furos de sondagem rotativa, executados dentro do perímetro urbano de Piracicaba. Em função deste grande número de perfis de sondagens, foi realizada uma seleção de 150 destas sondagens geotécnicas, mais representativas da área

de estudo. Os dados obtidos nestas investigações permitiram uma corroboração com as informações obtidas pelos mapeamentos geológicos e pedológicos existentes, uma avaliação média da resistência a penetração do solo (N) através dos ensaios de SPT e além disto, uma avaliação da profundidade do nível d'água em diversas situações.

Baseando-se na análise integrada dos mapas de declividade e de hipsometria elaborados, dos mapas temáticos de geologia e pedologia, e na sistematização e análise de sondagens geotécnicas, foi possível a geração de uma compartimentação preliminar de unidades geológico-geotécnicas fazendo uso de análise multi layers com cruzamento de dados.

Os critérios estabelecidos para esta compartimentação preliminar foram adotados pelo fato de que, segundo Lepsch (2010), os solos apresentam vários fatores de formação e entre estes, os principais se destacam o material rochoso de origem e o relevo.

O material de origem é responsável por boa parte das propriedades de um solo, tais como textura, mineralogia e características químicas. Segundo Oliveira (2008), o material de origem tem importância relevante em muitos atributos dos solos determinantes do comportamento não só agrônômico, mas também geotécnico.

O relevo por sua vez responde basicamente pela dinâmica da água que promove no perfil de solo maior ou menor grau de intemperismo e, conseqüentemente, os processos pedogenéticos atuantes.

As diversas classes pedológicas dão muito destaque para alguns atributos morfológicos, entre eles as estruturas do solo. As partículas de areia, silte e argila se aglomeram em unidades estruturais denominadas de agregados e tais estruturas referem-se ao tamanho, forma e os aspectos do conjunto destes agregados que aparecem naturalmente no solo as estruturas do solo. Estas unidades estruturais são separadas uma das outras através de fendilhamentos. A estrutura do solo é um atributo fundamental, pois em função da porosidade originada pela mesma, as propriedades físicas, químicas, biológicas e hídricas são afetadas e governam muitas vezes os aspectos comportamentais do solo.

Pode-se, portanto, considerar que as características pedológicas são extremamente relevantes nos aspectos comportamentais dos solos, inclusive quando se trata da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade, principalmente em

se tratando de classes pedológicas contempladas com estruturas granulares e porosas como os latossolos ou alguns argissolos mais arenosos.

### **5.2.2. Levantamento de Campo**

O levantamento de campo permitiu esclarecer pontos de dúvidas apontadas em mapeamentos geológicos e pedológicos.

Nesta fase dos trabalhos foram visitados 108 pontos de mapeamento em campo inseridos no perímetro urbano de Piracicaba. Estes pontos correspondem a escavações em obras civis, afloramentos naturais, obras de retaludamento e algumas trincheiras abertas. A escolha destes pontos foi baseada em uma melhor distribuição da área, na homogeneidade de relevo e outros aspectos visuais na paisagem e, evidentemente, nas possibilidades de acesso, principalmente em zonas densamente construídas. Considerando-se que a área do perímetro urbano de Piracicaba corresponde a 226,95 km<sup>2</sup>, temos uma amostragem média de 0,48 pontos de mapeamento por km<sup>2</sup>. Em cada um destes pontos mapeados, foram anotadas as suas coordenadas assim como foram descritas as suas principais características geológicas e pedológicas. Estas informações foram imprescindíveis para a realização de classificação litológica e classificação pedológica destes pontos de mapeamento, bem como para realizar a aferição e ajustes necessários dos mapeamentos geológicos e pedológicos existentes. Nestas visitas, foram coletadas amostras de solo, pelo menos em parte delas, para serem submetidas aos ensaios de caracterização, cuja análise dos resultados permitiram um melhor entendimento das propriedades do solo, principalmente daqueles que podem apresentar características colapsíveis, visando a facilitar e contribuir com o zoneamento da área de estudo em unidades geológico-geotécnicas apresentadas na carta geotécnica aplicada a colapsividade de solos da área de estudo, na escala 1:50.000.

### **5.2.3. Execução de Ensaios Laboratoriais para Caracterização do Solo**

Nesta primeira etapa do detalhamento progressivo, foram executados ensaios geotécnicos de caracterização de solos amostrados (índices físicos, índices de consistência, granulometria, compactação) de todo o perímetro da área de estudo. As análises dos resultados destes ensaios permitiram a caracterização geotécnica das unidades geológico-geotécnicas, bem como uma avaliação da probabilidade de colapso de solos, de acordo com critérios adotados por vários

autores e citados anteriormente, estabelecida em graus de suscetibilidade. Além disto, as análises dos resultados destes ensaios de caracterização geotécnica dos solos nortearam e corroboraram com a premissa de que as diversas classes pedológicas apresentam propriedades distintas. Não obstante, esta mesma caracterização geotécnica permitiu que fosse realizado um agrupamento de algumas classes pedológicas, haja vista que várias delas apresentam apenas distinções químicas sob a ótica da fertilidade, não interferindo assim nas principais propriedades geotécnicas delas.

As amostras coletadas nesta etapa foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização de solo de acordo com as normas técnicas: “Análise granulométrica combinada”- NBR 7181 (ABNT,2016); “Limite de liquidez”- NBR 6459 (ABNT,2016); “Limite de Plasticidade”- NBR 7180 (ABNT,2016); “Determinação da massa específica natural”- NBR 10535 (ABNT,1988); e “Determinação da massa específica dos grãos” NBR 6508 (ABNT, 1984). Além disto, estas amostras foram submetidas aos estudos de compactação de acordo com a norma técnica “Ensaio de compactação” - NBR 7182 (ABNT, 2016) e esporadicamente à determinação do “Índice de Suporte Califórnia” - NBR 9895 (ABNT, 2016). Para uma avaliação do teor de matéria orgânica de algumas amostras superficiais, estas foram submetidas, de acordo com norma técnica, ao ensaio de “Determinação do Teor de Matéria Orgânica por Queima a 440<sup>0</sup>C” NBR13600 (ABNT, 1996).

#### **5.2.4. Classificações Geotécnicas dos Solos**

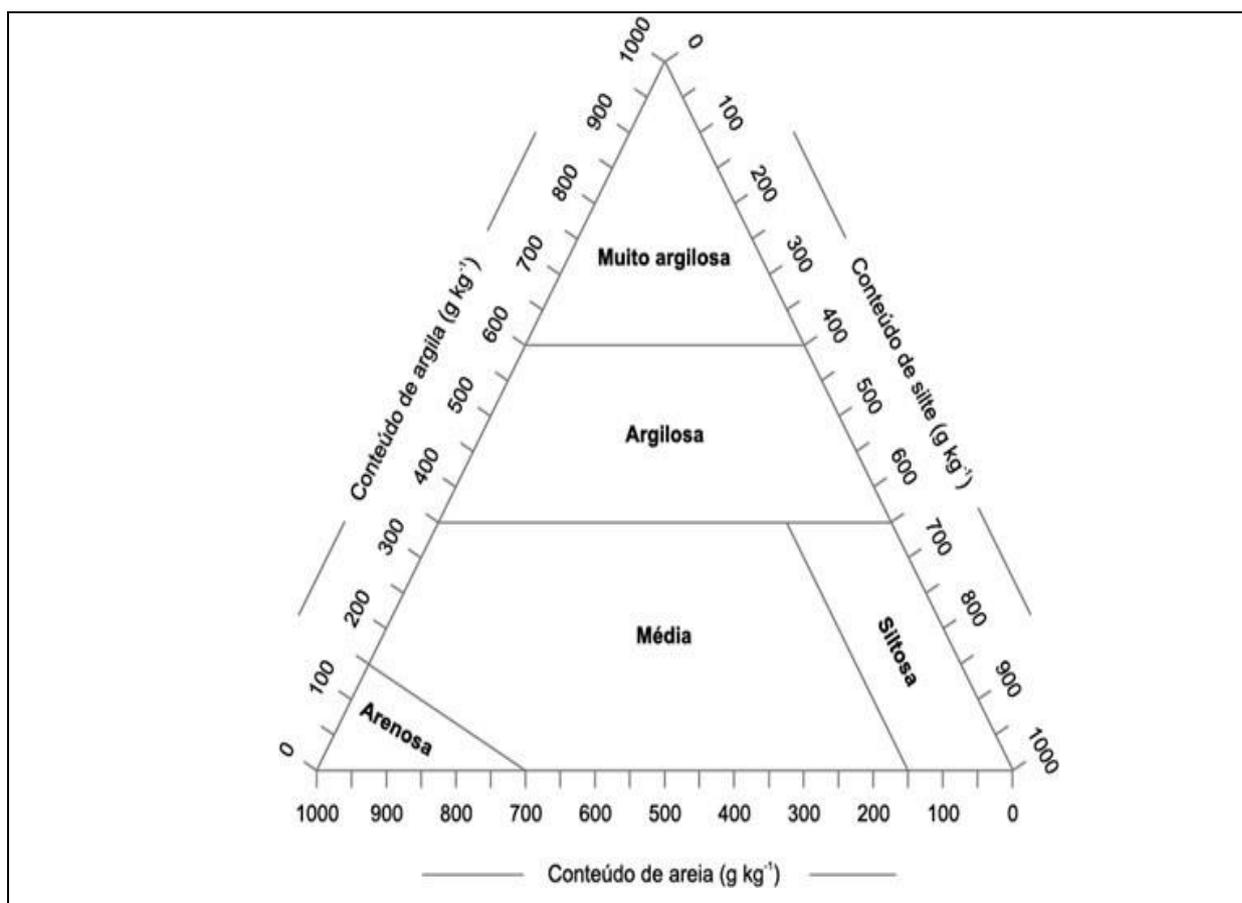
Através dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização, foi possível também, para efeito de uma melhor caracterização geotécnica, a obtenção da classificação granulométrica de acordo com a norma técnica NBR 6502 “Rochas e solos- Terminologia” (ABNT, 1995), da classificação textural simplificada (SiBCS, 2013), da classificação unificada de Casagrande citada por Pinto (2000) e da classificação rodoviária de acordo com a norma técnica D 3282 “Standard Practice for classification of soils and soil-aggregate Mixtures for highway construction purposes” (ASTM, 2004; Pinto, 2000). Embora estas classificações não sejam conclusivas para a determinação da suscetibilidade de solos colapsíveis, considerando que estes independem destas classificações, são fundamentais para a elaboração de cartas geotécnicas e quando aplicadas a solos colapsíveis sintetizam o comportamento destes materiais inconsolidados e permitem uma correlação

razoável, de caráter regional, com a suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de alguns deles na área de estudo.

A classificação granulométrica das amostras submetidas aos ensaios de caracterização, foi realizada de acordo com a norma técnica “Rochas e Solos-Terminologia” NBR 6502 (ABNT, 1995) que é baseada no diâmetro das partículas:

- \*Pedregulho (fragmentos de rocha ou mineral), ou cascalho, ou ainda seixo (fragmentos arredondados ou semi arredondados):  $2\text{mm} < \varnothing < 60\text{mm}$
- Areia:  $0,06\text{mm} < \varnothing < 2,0\text{mm}$ ;
- Silte:  $0,002\text{mm} < \varnothing < 0,06\text{mm}$ ; e
- Argila:  $\varnothing < 0,002\text{mm}$ .

Para efeito de correlações texturais, mais utilizadas no âmbito da pedologia, apresenta-se aqui a Classificação Textural Simplificada (SiBCS, 2013), apud Prado (2016) e demonstrada na **Figura 27**.



**Figura 27. Classificação Textural Simplificada (SiBCS, 2013)**

A classificação unificada de Casagrande e apresentada por Pinto (2000), obtida através dos ensaios de caracterização das amostras, tem como objetivo,

estimar o provável comportamento do solo, sob o ponto de vista da engenharia. A classificação unificada de Casagrande, inicialmente utilizada para obras de aeroportos e barragens de terra, hoje é também utilizada em todos os segmentos geotécnicos. A classificação se dá através da conjunção de duas letras que correspondem as partículas (diâmetro= $\emptyset$ ) e suas características respectivamente:

- Partículas

G = pedregulho (ou cascalho)

S = areia

M = silte

C = argila

O = solo orgânico

- Solos finos

$\emptyset < 0.075\text{mm} > 50\% = \text{“M” “C” ou “O”}$

- Características

W = bem graduado

P = mal graduado

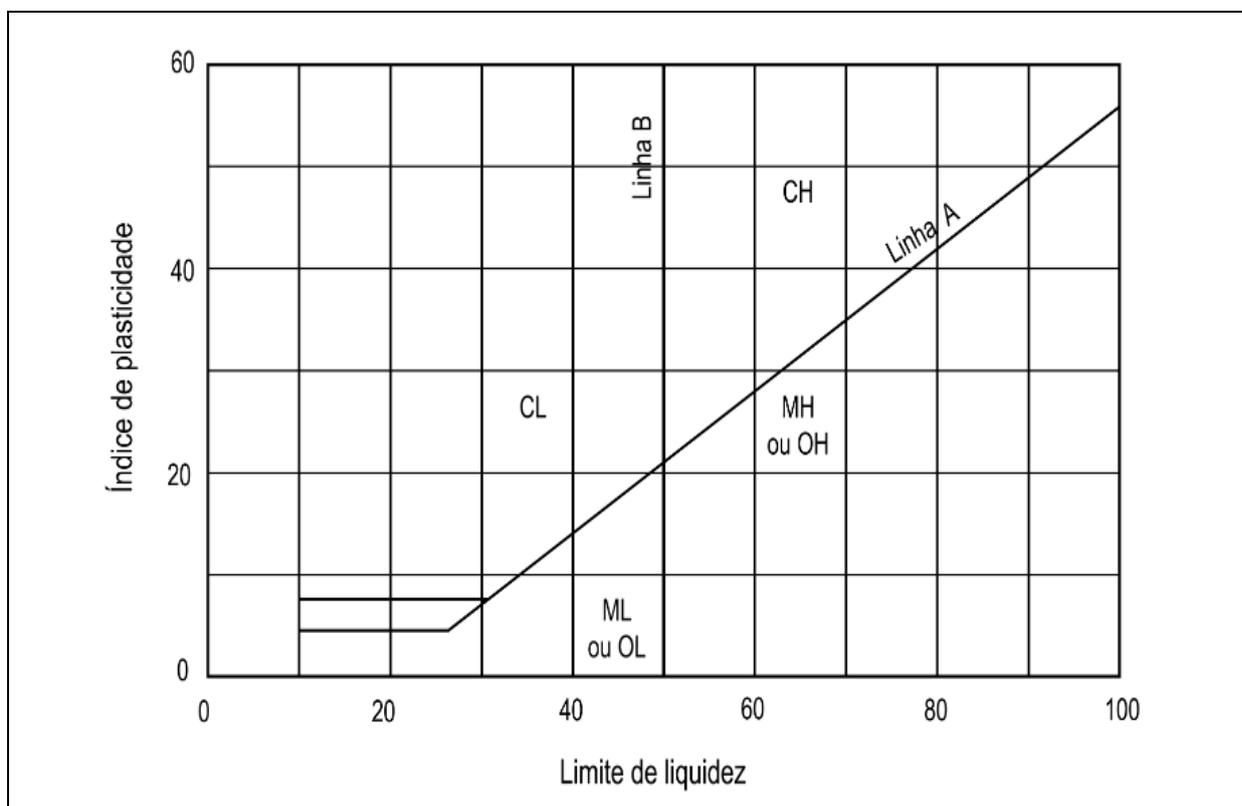
H = alta compressibilidade

L = baixa compressibilidade

- Solos grosseiros

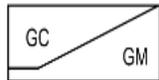
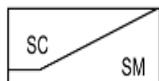
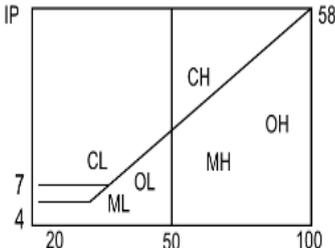
$\emptyset < 0.075\text{mm} < 50\% = \text{“G” ou “S”}$

A classificação de Casagrande, para os solos finos, é baseada na carta de plasticidade de Casagrande, apresentada na **Figura 28**, pois os índices de consistência são os que melhor examinam o comportamento argiloso. A linha A da figura corresponde ao índice de plasticidade dado por:  $IP = 0,73 * (LL - 20)$ .



**Figura 28. Carta de plasticidade de Casagrande (PINTO, 2000)**

Pinto (2000) apresenta um esquema para a determinação da classificação unificada de Casagrande, conforme demonstrado na **Figura 29**.

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW $CNU > 4$ e $1 < CC < 3$
			GP $CNU < 4$ ou $1 > CC > 3$
		% P #200 > 12	GC  GM
		5 < #200 < 12	GW - GC, GP - GM, etc.
	S > G : S	% P #200 < 5	SW $CNU > 6$ e $1 < CC < 3$
			SP $CNU < 6$ ou $1 > CC > 3$
% P #200 > 12		SC  SM	
	5 < #200 < 12	SW - SC, SP - SC, etc.	
% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
		OH	

**Figura 29. Esquema para classificação unificada de Casagrande (PINTO, 2000)**

A classificação rodoviária é obtida de acordo com a norma técnica D 3282 (atualizada) “Standard practice for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes” (ASTM, 2004). Este sistema rodoviário de classificação é baseado na granulometria e índice de plasticidade dos solos e são assim denominados:

A classificação rodoviária para os solos de granulometria grossa obedece aos seguintes requisitos: % Peneira (P)  $\neq$  200 < 35%: A-1; A-2; A-3:

**A-1a** (pedregulho bem graduado)

- % P  $\neq$  10 (2,0mm) < 50%
- % P  $\neq$  40 (0,42mm) < 30%
- % P  $\neq$  200 (0,075mm) < 15%
- IP < 6%

**A-1b** (areia bem graduada)

- % P  $\neq$  40 (0,42mm) < 50%

- % P  $\neq$  200 (0,075mm) < 25%

- IP < 6%

**A-3** (areia fina mal graduada)

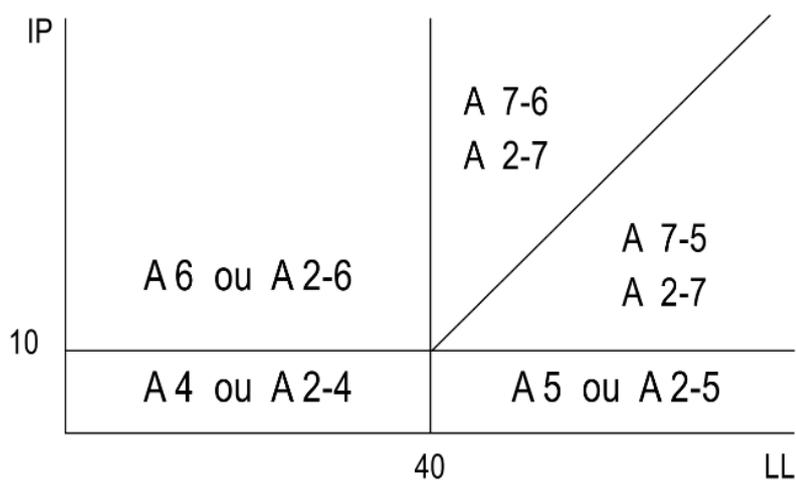
- % P  $\neq$  40 < 50%

- % P  $\neq$  200 < 10%

- IP nulo

**A-2** (pedregulhos arenosos, siltosos ou argilosos) - Em função dos índices de consistência (**Figura 30**), são sub classificados em A-2-6 e A-2-7

A classificação rodoviária para os solos finos obedece aos seguintes requisitos: % Peneira  $\neq$  200 > 35%: A-4; A-5; A-6; A-7 e se dá em função dos índices de consistência, ou seja, limite de liquidez (LL) e o índice de plasticidade (IP), conforme a **Figura 30** a mesma utilizada para determinação dos solos A-2. Pinto (2000) apresenta um esquema simplificado para a classificação rodoviária (**Figura 31**). Outro esquema desta mesma classificação é a apresentada pela norma D3282 (ASTM, 2004) que pode ser observada na **Tabela 15**. Este esquema de apresentação permite uma avaliação de qualidade dos solos para emprego em sub-bases de rodovias.



**Figura 30.** Esquema para classificação rodoviária de solos baseado nos índices de consistência (PINTO, 2000)

		% P #10 2,0 mm	% P #40 0,42 mm	% P #200 0,075 mm	IP
% P #200 < 35	A-1a	< 50	< 30	< 15	< 6
	A-1b		< 50	< 25	< 6
	A-3		< 50	< 10	NP
	A-2				
% P #200 > 35	A-4				
	A-5				
	A-6				
	A-7-5				
	A-7-6				

Figura 31. Esquema para classificação pelo sistema rodoviário (Pinto,2000)

**Tabela 15. Classificação Rodoviária do solo, conforme Norma D 3282 (ASTM, 2004): Standard Practice for Classification of Soils and Soil - Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes**

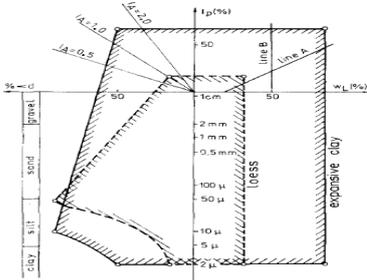
GRUPOS	Solos Granulares % passando na peneira de 0,074mm ≤35							Solos de Silte Argila % passando na peneira de 0,074mm > 35				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
<b>Porcentagem passando nas peneiras:</b> <b>2mm(n.10)</b> <b>0,42mm(n.40)</b> <b>0,074mm(n.200)</b>	50 máx.		51 mín	35 máx	35máx	35máx	35máx	36 mín.	36 mín	36 mín	36 mín.	36 mín
<b>Características da fração passando na peneira de 0,42mm</b>		50 máx. 25 máx.	10 máx									
<b>Limite de Liquidez</b>				40máx	41mín	40máx	41mín	40máx	41mín	40máx	41mín	41mín
<b>Índice de plasticidade</b>	6máx		NP	10máx	10máx	11mín	11mín	10máx	10máx	11mín	(LL-30) máx	(LL-300) mín
<b>Índice de grupo *</b>	0		0	0		4máx		8máx	12máx	16máx	20máx	
<b>Constituintes usuais</b>	Fragmentos de pedras,pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulho areia, argiloso ou siltosos				Solos Siltosos		Solos Argilosos		
<b>Funcionamento como sub-base</b>	Excelente → Bom							Fraco → Pobre				

### 5.2.5. Determinação do Grau de Suscetibilidade ao Colapso de Solos

A avaliação de suscetibilidade ao fenômeno colapsível destas amostras foi realizada de acordo, sempre que possível e aplicáveis, com os critérios de DENISOV (1951); de PRIKLONSKIJ (1952); de MIHEEV (1962); da FEDA (1966); de ANDREI; ATHANASIU (1979), de ZUQUETTE (1993), de AYADAT; HANNA (2012), de VILAR; RODRIGUES (2015), e de LOMMLER; BANDINI (2015). Para efeito de avaliação de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade nesta primeira etapa, estes critérios foram adotados pela sua simplicidade e rapidez de execução. Este trabalho propôs notas para cada um destes critérios adotados, conforme **Tabela 16**, e, desta forma, classificou os graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos, baseados na somatória destas notas, nos seguintes termos: muito pouco suscetível (0 a 4), pouco suscetível (5 a 8), suscetível (9 a 12) e altamente suscetível (13 a 18). Foi dada relevância maior para os critérios de Lommler e Bandini (2015) por apresentarem mais parâmetros que outros autores.

**Tabela 16. Critérios para avaliação da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade**

CRITÉRIO	CONDIÇÕES	NOTA DE COLAPSIVIDADE		
		SIM	NÃO	INDEFINIDO
PRIKLONSKIJ (1952)	$K_d = (LL - W_0) / IP$ , onde $K_d$ = Coeficiente de Colapsividade; LL = Limite de Liquidez; $W_0$ = Teor de Umidade Inicial e $IP$ = índice de Plasticidade; e $K_d < 0,0 \Rightarrow$ Solos altamente colapsíveis. Para: $K_d \geq 0,5 \Rightarrow$ Solos não colapsíveis $K_d > 1,0 \Rightarrow$ Solos expansivos	2	0	1
MIHEEV (1962)	$e > 0.5$ e $G < 60\%$ , onde: $e$ = Índice de Vazios e $G$ = Grau de Saturação	2	0	-
FEDA (1966)	$K = [(W_0/S_0) - LP] / (LL - LP)$ , onde $W_0$ = umidade natural $S_0$ = grau de saturação natural, LL = Limite de liquidez. Os “solos parcialmente saturados”, com valores de $K > 0,85$ , devem ser chamados de solos “subsidentes” ( $s^*$ ), e os solos com $S_0 < 60\%$ “colapsíveis ( $c^*$ ) quando saturados”.	2 ( $c^*$ )	0	1 ( $s^*$ )

CRITÉRIO	CONDIÇÕES			NOTA DE COLAPSIVIDADE		
				SIM	NÃO	INDEFINIDO
ANDREI; ATHANASIU (1979)	 <p>Vide figura 6.</p>			2	0	-
ZUQUETE (1993)	<p><b>Relação: <math>\gamma_n / \gamma_{max}</math>, onde:</b></p> <p><math>\gamma_n</math> = Massa específica natural do solo e</p> <p><math>\gamma_{max}</math> = Massa específica máxima seca obtida na compactação com energia normal</p> <p>Para relação &lt; 80% - Solos Colapsíveis</p>			2	0	-
AYADAT; HANNA (2012)	<p>Relação <math>\gamma &lt; 0.78 \delta</math> Onde,</p> <p><math>\gamma</math>: massa específica natural</p> <p><math>\delta</math>: massa específica dos constituintes do solo</p>			2	0	-
VILAR; RODRIGUES (2015)	<p>Para solos secos (<math>h &lt; h_{ot}</math>):</p> $(\gamma_0 / \gamma_{max}) \leq 90 - 0,6 \Delta h$ <p>Para solos úmidos (<math>h &gt; h_{ot}</math>):</p> $100 \times (\gamma_0 / \gamma_{max}) \leq 90 - 1,8 \Delta h$			2	0	-
LOMMLER; BANDINI (2015)	Parâmetro	Intervalos	Potencial de Colapso	Alta= 4 Provável= 2	Improvável= 0	Possível= 1
	Densidade Seca In situ ( $\gamma_0$ )	< 1,28 g/cm <sup>3</sup>	Alta colapsividade			
		1,29 a 1,44 g/cm <sup>3</sup>	Provável colapsividade			
		1,45 a 1,65 g/cm <sup>3</sup>	Possível colapsividade			
		> 1,66 g/cm <sup>3</sup>	Improvável colapsividade			
	SPT (N)	N ≤ 10	Provável colapsividade			
	Teor de Umidade In Situ (w)	1 a 6%	Provável colapsividade			
	Grau de Saturação (S)	3 a 20%	Provável colapsividade			
		35%	Início da colapsividade			
Índice de Plasticidade (IP)	> 85%	Colapso completo				
	< 10	Possível colapsividade				
Solo recompactado: removido, umedecido e recompactado	-	Não colapsível				
<p><b>Classificação dos graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muito pouco suscetível (0 a 4)</li> <li>• Pouco suscetível (5 a 8)</li> <li>• Suscetível (9 a 12)</li> <li>• Altamente suscetível (13 a 18)</li> </ul>						

### 5.2.6. Integralização de Dados

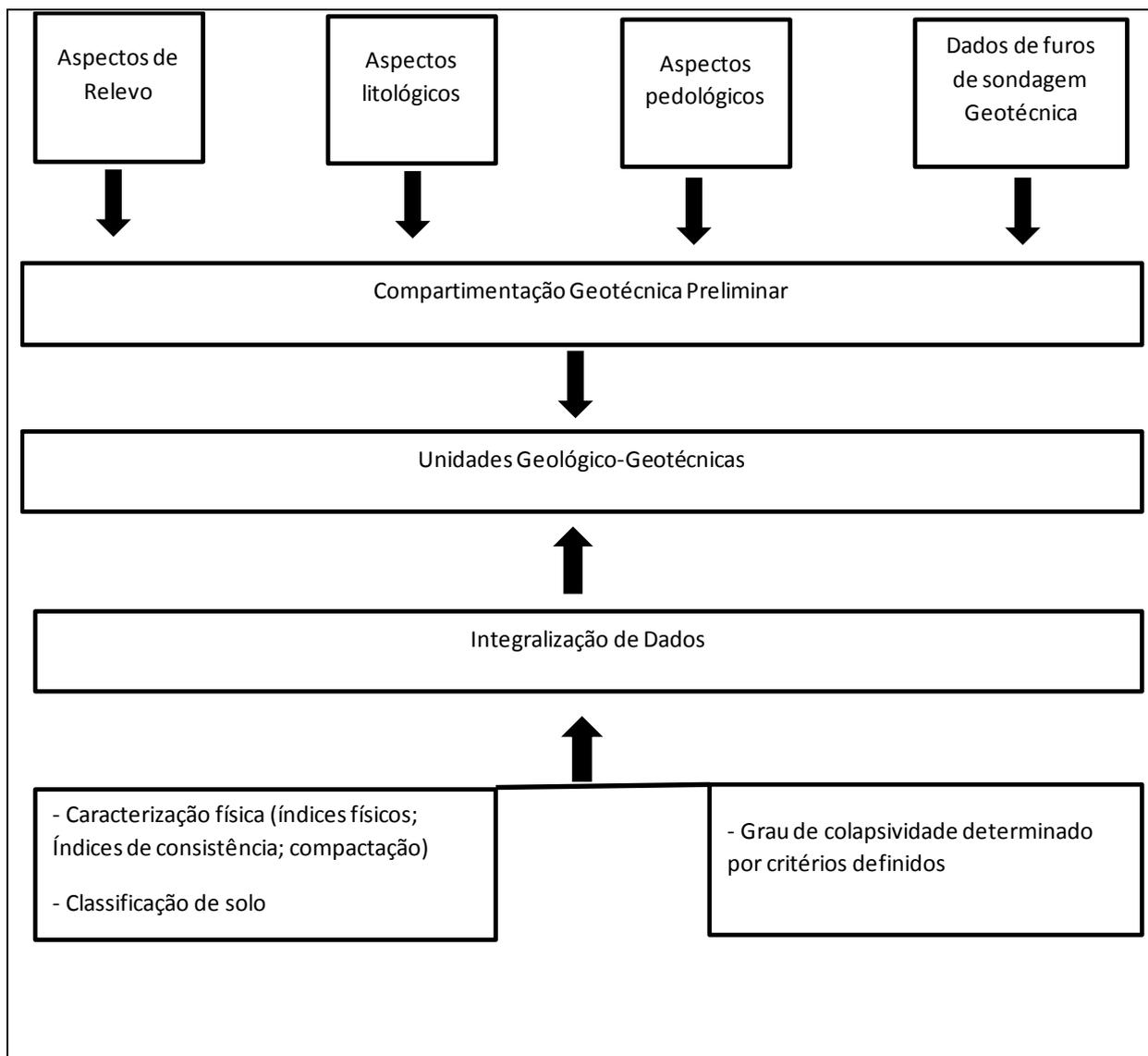
A integralização da análise dos resultados laboratoriais (caracterização, granulometria e compactação), da análise da determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno do colapso do solo, das informações obtidas nas sondagens geotécnicas (aspectos texturais, gênese, resistência a penetração do solo, litológicos e pedológicos, profundidade de N.A), juntamente com as informações morfométricas (declividade e hipsometria), definiram as unidades geológico-geotécnicas aplicadas a solos colapsíveis levando em consideração as diferenças comportamentais dos solos, principalmente em relação a potencialidade presumível da colapsividade.

### 5.2.7. Elaboração da Carta Geotécnica Aplicada a Solos Colapsíveis

Para a elaboração da carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis, foram necessários os recursos de laboratório de cartografia e geoprocessamento e recursos de laboratório de solos instalados na EEP-Escola de Engenharia de Piracicaba.

A carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis elaborada na escala 1:50.000 da área urbana do município de Piracicaba contempla as unidades geológico-geotécnicas levando em consideração as diferenças comportamentais dos solos, principalmente em relação a potencialidade presumível da colapsividade. Estas unidades foram geradas de acordo com os procedimentos já descritos anteriormente: compartimentação geotécnica preliminar, levantamento de campo e análise de resultados dos ensaios laboratoriais. A integralização da análise destes procedimentos, definiram as unidades geológico-geotécnicas definitivas. Portanto, estes procedimentos deram as formas definitivas das unidades geológico-geotécnicas apresentadas na carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis.

A referida carta gerada teve como base cartográfica, a “planta do município-Abairramento e Loteamento” em escala 1:20.000 e que compreende a área urbana de Piracicaba (IPPLAP, 2018). A **Figura 32** ilustra o fluxograma esquemático para a geração de unidades geológico-geotécnicas apresentadas na carta geológico-geotécnica aplicada a solos colapsíveis.



**Figura 32. Fluxograma para a geração de unidades geológico-geotécnicas da carta geológico-geotécnica aplicada a solos colapsíveis na etapa geral**

### 5.2.8. Definição da Zona Alvo

Após a finalização da carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis apresentando suas unidades geológico-geotécnicas, foi escolhida uma zona alvo contemplando aquelas unidades que apresentaram maiores graus de suscetibilidade a colapsividade, em função dos critérios propostos. Desta forma, a referida zona alvo foi objeto da execução da segunda etapa do detalhamento progressivo (etapa intermediária), que consiste em um levantamento de campo complementar, coleta de amostras deformadas e indeformadas, além da realização de novos ensaios laboratoriais, em especial os ensaios edométricos.

Algumas características comportamentais das unidades geológico-geotécnicas, intrínsecas aos solos colapsíveis foram citadas neste trabalho. Estas características comportamentais foram adaptadas e seguem, analogamente, próximas e sempre que exequível, os critérios apontados no Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba em escala 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação dos Atributos (PEJON,1992), na Carta Pedológica Semi-detalhada da Folha de Piracicaba (OLIVEIRA,1999) e na síntese da correlação geo-pedológica apresentada por Oliveira e Monticeli (2018). Ressalve-se que as características comportamentais aqui apresentadas têm como finalidade permitir apenas uma avaliação geotécnica das unidades geológico-geotécnicas, haja vista que a compatibilidade destas informações se refere aos objetivos ou escala dos trabalhos citados.

### **5.3. 3ª Fase de Estudo- Aplicação da Etapa Intermediária do detalhamento Progressivo**

A partir da escolha de uma zona alvo que contempla unidades geológico-geotécnicas classificadas, de acordo com os critérios propostos e estabelecidos anteriormente (item **5.2.5 e Tabela 16**), como sendo de graus suscetível e altamente suscetível ao fenômeno da colapsividade de solos, esta foi o alvo para o prosseguimento do trabalho em sua etapa intermediária. Para o desenvolvimento desta terceira fase de estudo, que corresponde a segunda etapa do detalhamento progressivo (etapa intermediária), as seguintes atividades foram exigidas:

- Levantamento complementar de campo;
- Elaboração de seções geológicas esquemáticas com a finalidade de avaliar os aspectos geomorfológicos, geológicos e pedológicos;
- Coleta de amostras deformadas e indeformadas;
- Ensaio laboratoriais de caracterização;
- Determinação do grau de suscetibilidade ao colapso das amostras ensaiadas;
- Ensaio edométricos;
- Classificações geotécnicas;
- Elaboração de carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis; e
- Escolha de um local para o desenvolvimento da terceira etapa do detalhamento progressivo.

### **5.3.1. Levantamento Complementar de Campo**

Uma nova fase de levantamento de campo se fez necessário a fim de discernir algumas dúvidas relacionadas à distribuição geográfica das diferentes unidades geológico-geotécnicas dentro da zona alvo escolhida para esta etapa. Além das descrições de perfis de solo e observações dos aspectos litológicos e pedológicos, foram coletadas, nesta etapa, amostras indeformadas para submissão aos ensaios edométricos de acordo com a Norma Técnica NBR 9604 “Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas” (ABNT,1986).

### **5.3.2. Elaboração de Seções Geológicas Esquemáticas**

A elaboração de seções esquemáticas se tornou muito oportuna para uma avaliação da distribuição espacial das classes de solo com alto grau de colapsividade e dos aspectos geomorfológicos, geológicos e pedológicos da zona alvo.

### **5.3.3. Execução de Ensaio Laboratoriais Complementares de Caracterização**

Algumas amostras coletadas em pontos de mapeamento complementares foram submetidas aos ensaios de caracterização e de compactação nos mesmos moldes da etapa geral do detalhamento progressivo.

### **5.3.4. Determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade**

Da mesma forma que na etapa geral, os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais de caracterização e compactação permitiram a determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno do colapso de solos obedecendo os mesmos critérios já descritos anteriormente.

Foi introduzido nesta etapa do detalhamento progressivo, para efeito de corroboração com a presumível constatação de colapsividade obtida através das análises dos resultados dos ensaios laboratoriais de caracterização e ensaios edométricos, o critério de identificação de solos colapsíveis proposto por Gaaver (2012) que relaciona a massa específica seca obtida por compactação de energia modificada e o limite de liquidez do referido solo ( **Figura 11** da página 44) de algumas amostras.

### **5.3.5. Classificações Geotécnicas do Solo**

Baseando-se nos resultados dos ensaios de caracterização dos solos, as amostras foram classificadas de acordo com os mesmos critérios da etapa geral do detalhamento progressivo.

### **5.3.6. Ensaios Edométricos e Determinação dos Índices de colapso de solos**

A execução de ensaios edométricos norteou a constatação da presumível colapsividade dos solos desta área alvo. A execução dos ensaios de adensamento seguiu a metodologia D 2435-96 “Standard Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils (ASTM, 1996) e o potencial de colapsividade destes solos pode ser avaliado através do método desenvolvido na norma técnica D 5333 “Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils” (ASTM, 2003). Embora estes ensaios sejam mais complexos e demorosos que os ensaios de caracterização executados na primeira etapa, estes orientaram a constatação da presença de solos presumivelmente colapsíveis. Em função dos resultados obtidos nestes ensaios, os solos podem ser classificados em graus de suscetibilidade ao colapso através dos índices de colapso (nulo, leve, moderado, moderadamente severo e severo) conforme apresentado na **Tabela 3** da página 40.

### **5.3.7. Elaboração da Carta Geotécnica Aplicada a Solos Colapsíveis da Zona Alvo**

A elaboração de uma carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis da zona alvo, escolhida na primeira etapa do detalhamento progressivo, foi estabelecida após a obtenção de informações de novo levantamento de campo e análise dos resultados obtidos dos novos ensaios de caracterização e ensaios edométricos realizados. Com a integralização destes dados, foi gerada uma carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis da zona alvo. As unidades geológico-geotécnicas geradas nesta etapa intermediária, foram estabelecidas em classes de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos de acordo com o grau de suscetibilidade determinado nas unidades geológico-geotécnicas estabelecidas nas etapas geral e nesta etapa intermediária. Para a elaboração desta carta geotécnica da zona alvo, foi utilizada uma escala compatível com a metodologia proposta (1:25.000). Para tanto, se fez necessário verificação de imagens de satélite, verificação e interpretação de fotos aéreas e a elaboração de mapas de declividade

e hipsométrico, a partir da base topográfica mundial apresentada pelo satélite Alos-2, disponibilizadas pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

### **5.3.8. Escolha de Local para a Etapa de Detalhe**

Em posse das constatações da presumível colapsividade de alguns solos obtidas através da interpretação dos resultados dos ensaios citados anteriormente, especialmente aquela citada na norma técnica D5333 (ASTM, 2003), foi escolhido um local para a aplicação da terceira etapa do detalhamento progressivo (etapa de detalhe), com o objetivo de confirmação da efetiva suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade do solo, que é objeto da última fase do trabalho descrita a seguir.

### **5.4. 4ª Fase de Estudo- Aplicação da Etapa de Detalhe**

Para esta terceira e última etapa do detalhamento progressivo (etapa de detalhe), em função dos resultados obtidos e analisados na segunda etapa do detalhamento progressivo (etapa Intermediária), principalmente da análise dos resultados obtidos nos ensaios edométricos, e além das facilidades de trabalho de campo, foi escolhido um local para análise de tópicos correlacionados com o fenômeno da colapsividade. A escolha recaiu sobre uma área dentro do campus da ESALQ/USP- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz da Universidade de São Paulo. No desenvolvimento desta quarta fase de estudo, as seguintes atividades foram realizadas:

- Escavação de uma trincheira de 9,20 metros de profundidade;
- Descrição pedológica do perfil da trincheira;
- Sondagem a trado na base da trincheira até os 15 metros;
- Análise granulométrica do perfil e tradagem da trincheira;
- Ensaios edométricos de amostras indeformadas coletadas em todas as profundidades da trincheira;
- Sondagem a percussão até o impenetrável ao SPT;
- Correlação entre os índices de resistência a penetração do solo (N-SPT) e os parâmetros determinados pelos ensaios edométricos de amostras indeformadas obtidas neste local em várias profundidades.

#### **5.4.1. Escavação de Trincheira**

Juntamente com pesquisadores da ESALQ/USP, acompanhamos a escavação de uma trincheira de 9,20 m de profundidade realizada no campus desta

instituição, em terreno contemplado com sedimentos de cobertura correlatos à Formação Rio Claro e pedologicamente descritos como Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (**Figura 33**). Em todo o perfil da trincheira foram coletadas amostras para serem submetidas aos ensaios granulométricos de acordo com os procedimentos preconizados no Manual de Métodos de Análise de solo (EMBRAPA, 2017). Nesta trincheira foram coletadas amostras indeformadas, uma a cada metro até a profundidade de nove metros para serem submetidas aos ensaios edométricos objetivando a confirmação do fenômeno da suscetibilidade ao colapso. Além disto, foram coletadas amostras deformadas para realização de ensaios granulométricos.

#### **5.4.2. Sondagem a Trado**

Na base desta escavação, foi ainda executada uma sondagem a trado com seis metros de profundidade, interrompida por problemas técnicos e por questões de segurança. Esta sondagem permitiu uma amostragem de solo que possibilitou a identificação e caracterização do mesmo até a profundidade de 15 metros em relação a superfície do terreno.

#### **5.4.3. Ensaios Edométricos e Determinação dos Índices de Colapso do Solo**

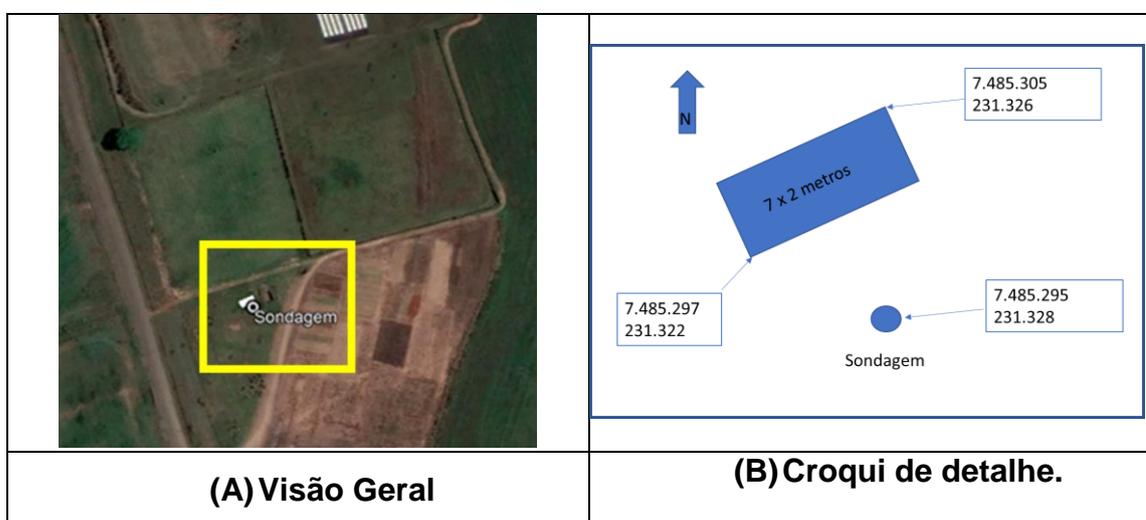
As amostras indeformadas coletadas na trincheira acima descrita correspondem a cada metro de escavação a partir da superfície do terreno e foram submetidas aos ensaios edométricos para determinação dos índices de colapso e que foram realizados no Laboratório de Geotecnia da UFSC de São Carlos.

#### **5.4.4. Sondagem a Percussão**

Apesar de restrições descritas anteriormente em relação entre N-SPT, vários autores sugerem algumas correlações, também já citadas anteriormente, deste índice com solos colapsíveis. Desta forma, na sequência, ao lado da trincheira (vide croqui da **Figura 34**), realizou-se uma sondagem a percussão até atingir o impenetrável ao SPT a fim de permitir uma correlação entre os índices de resistência a penetração do solo (N-SPT) e os resultados obtidos nos ensaios edométricos de amostras indeformadas coletadas, pelo menos até a profundidade de nove metros (**Figura 35**).



**Figura 33. Escavação de trincheira de 9,0 metros de profundidade**



**Figura 34. Croqui de localização da trincheira e da sondagem realizada.**



**Figura 35. Execução de sondagem a percussão ao lado da escavação.**

## 6. RESULTADOS

Aqui são apresentados todos os resultados obtidos nas diferentes fases deste trabalho, em forma de comentários, tabelas, figuras e apêndices.

### 6.1. Resultados da Etapa Geral do detalhamento Progressivo

O **APÊNDICE A** apresenta o mapa de localização dos pontos visitados no levantamento de campo e a localização dos furos de sondagem geotécnica realizados e analisados neste trabalho na área de estudo, na escala 1:50.000.

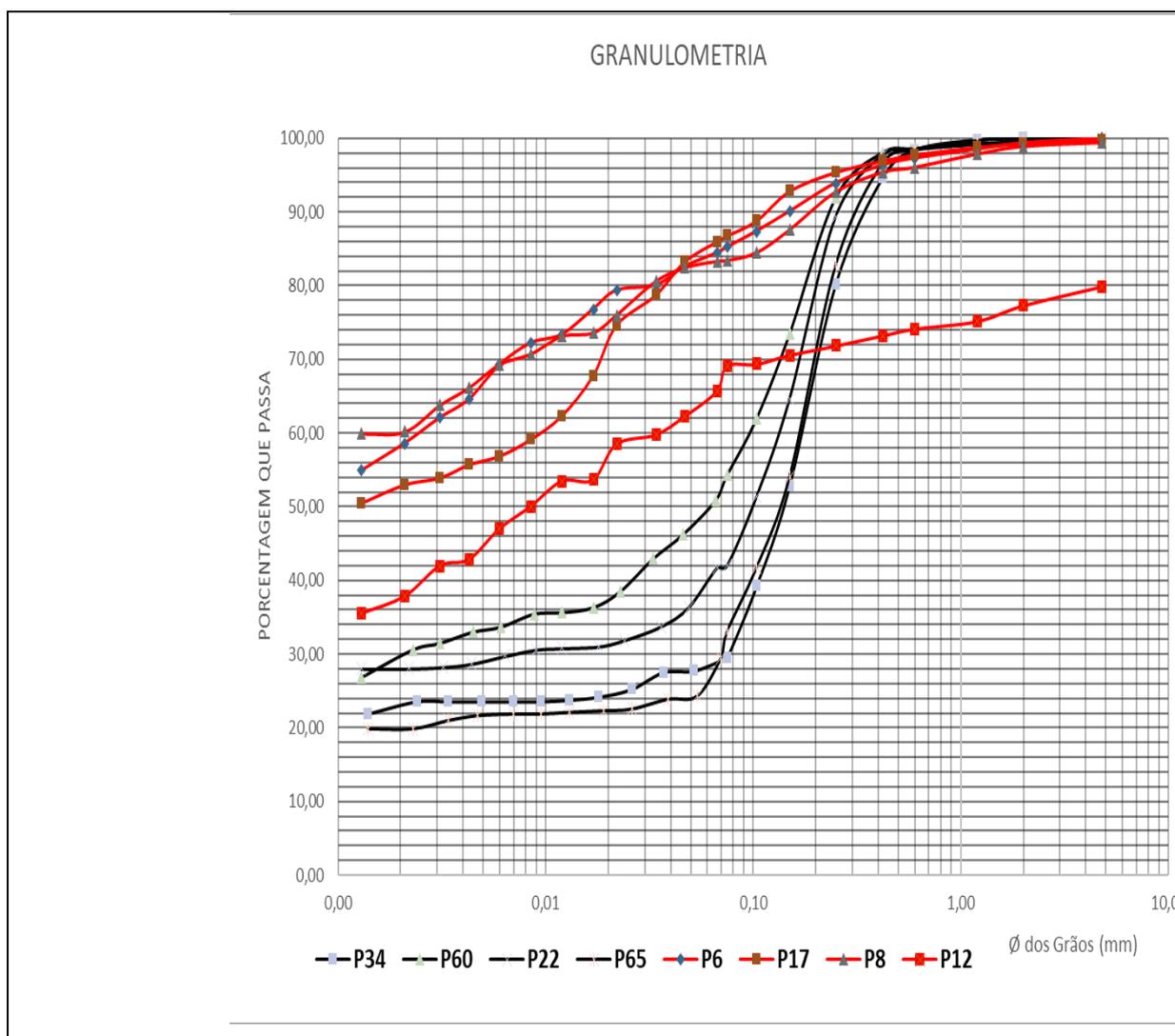
As informações geológico-geotécnicas obtidas através de sondagens geotécnicas realizadas na área de estudo foram de grande importância para a elaboração da compartimentação geotécnica preliminar deste estudo, pois permitiram uma corroboração expressiva com as informações geológicas e pedológicas verificadas nos mapas temáticos. Além disto, estas informações auxiliaram na compreensão comportamental das unidades geológico-geotécnicas estabelecidas. A síntese das informações geológico-geotécnicas dos principais perfis de sondagem geotécnica (descrição dos materiais, profundidades do nível d'água e os valores do N "Índice de resistência a penetração do solo" através do ensaio SPT "Standard Penetration Test" preconizado no "Manual de Sondagens" (ABGE, 2013) são apresentados no **APÊNDICE B**.

As classificações pedológicas dos perfis analisados durante o mapeamento obtidas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA,2006) e as unidades lito-estratigráficas observadas 'in situ' quando expostas ou apenas citadas através da observação dos mapas geológicos são apresentadas no **APÊNDICE C**. Os trabalhos evidenciaram que a natureza geológica e a natureza pedológica são fundamentais para uma avaliação do comportamento colapsível quando corroboradas aos parâmetros de critérios adotados por vários autores.

Os resultados de ensaios laboratoriais de caracterização e estudo de compactação do solo, executados na etapa geral do detalhamento progressivo para a avaliação das características geotécnicas e avaliação da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos do perímetro urbano de Piracicaba e apresentados em síntese no **APÊNDICE D** tornaram-se parâmetros fundamentais no atendimento dos critérios adotados para a avaliação do fenômeno da colapsividade

de solos. Pode-se afirmar que, com poucas exceções, pela análise dos resultados laboratoriais, os resultados obtidos atenderam às expectativas.

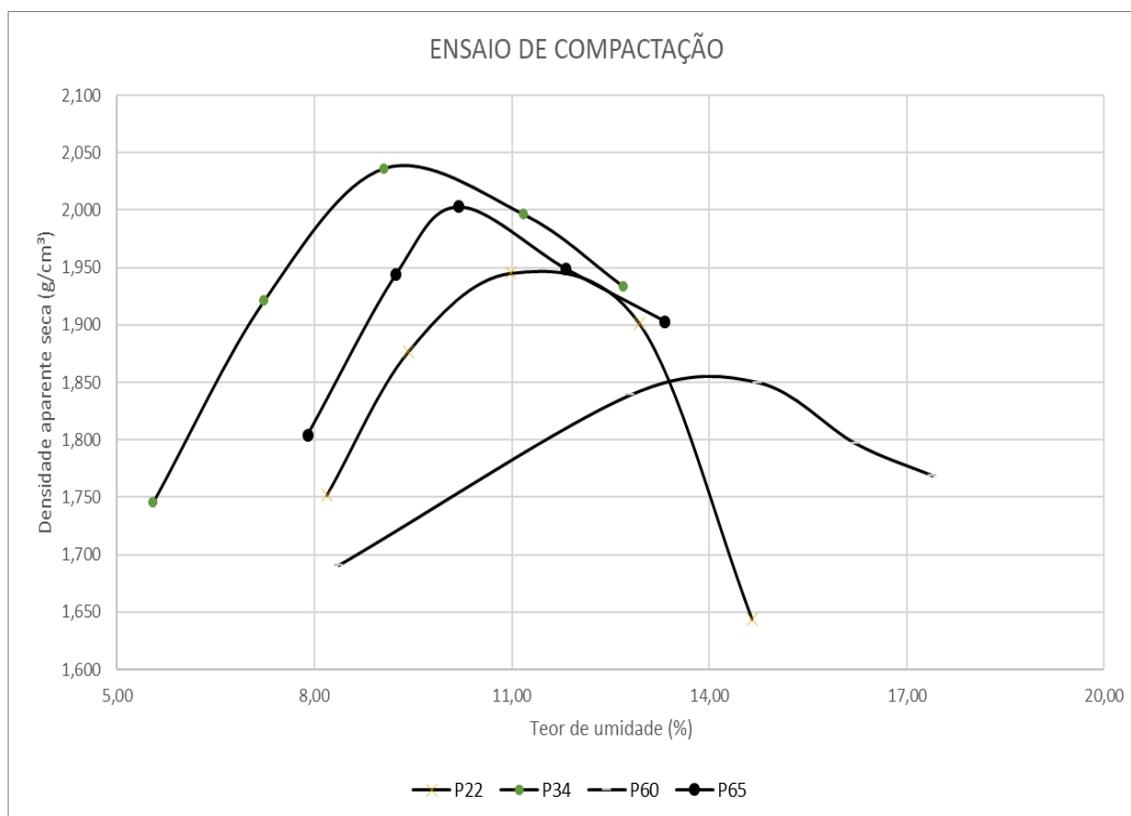
Observa-se através dos ensaios granulométricos, que os solos com alta suscetibilidade ao colapso da área de estudo, apesar de apresentarem teores de argila variados, apresentam padrões granulometricamente seletivos e semelhantes entre si, conforme **Figura 36**. Por outro lado, os solos que apresentaram baixa colapsividade possuem um comportamento granulométrico mais graduado.



**Figura 36. Curvas Granulométricas de amostras com alto grau de suscetibilidade ao colapso (preto) e com baixo grau (vermelho).**

Já para os resultados observados dos ensaios de compactação com energia normal dos solos com alta suscetibilidade ao colapso apresentados na **Figura 37**, não foi verificado tanta similaridade entre as mesmas amostras, muito

provavelmente pelo papel desempenhado das argilas, graças as diferenças texturais.



**Figura 37. Gráficos de Proctor (energia normal) das amostras com alto grau de suscetibilidade ao colapso**

Os horizontes superficiais, pedologicamente denominados de horizonte A, pela razão de não serem alvos de interesse geotécnico na maioria das vezes, não são contemplados nesta avaliação. Por outro lado, embora não relevante para os objetivos deste trabalho, alguns ensaios para determinação do teor de matéria orgânica nestes horizontes superficiais, mostraram que os mesmos, pelo menos regionalmente, apresentam teores apenas moderados, oscilando entre 3 e 4%. Exceções para os Gleissolos típicos de várzeas que apresentam teores muito maiores.

Algumas amostras foram submetidas ao ensaio de índice de suporte Califórnia, mais conhecido como ensaio CBR. Geralmente os solos da área de estudo não apresentam bom resultado para o CBR, todavia alguns deles, aqueles que reúnem maior potencial para o colapso como os latossolos vermelhos e

latossolos vermelho-amarelos podem atingir 15% deste índice CBR. A análise dos resultados destes mesmos ensaios CBR permitiu verificar que ocorrem o fenômeno da expansibilidade em alguns solos pedologicamente menos desenvolvidos como os neossolos regolíticos e litólicos e cambissolos originários da Formação Corumbataí. Foram observados uma expansibilidade de até 3,5% nestes tipos de ensaios, não obstante houve-se relatos de uma expansibilidade ainda maior.

As classificações geotécnicas (granulométrica, textural, unificada e rodoviária) tendo sido integralizadas aos outros aspectos morfométricos auxiliaram na geração das unidades geológico-geotécnicas e são apresentadas no **APÊNDICE E**. As referidas classificações permitem demonstrar a qualidade dos solos e dá uma noção para efeito de aplicação no âmbito dos empreendimentos civis na área de geotecnia. Embora estas classificações não sejam conclusivas para efeito de avaliação da suscetibilidade dos solos ao colapso, elas dão uma noção de comportamento colapsível em nível regional.

Os dados e os critérios adotados que permitiram a avaliação da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade dos horizontes analisados são aqueles já apresentados na **Tabela 16**. Baseado nestes critérios, a **Tabela 17** apresenta os graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade das amostras analisadas.

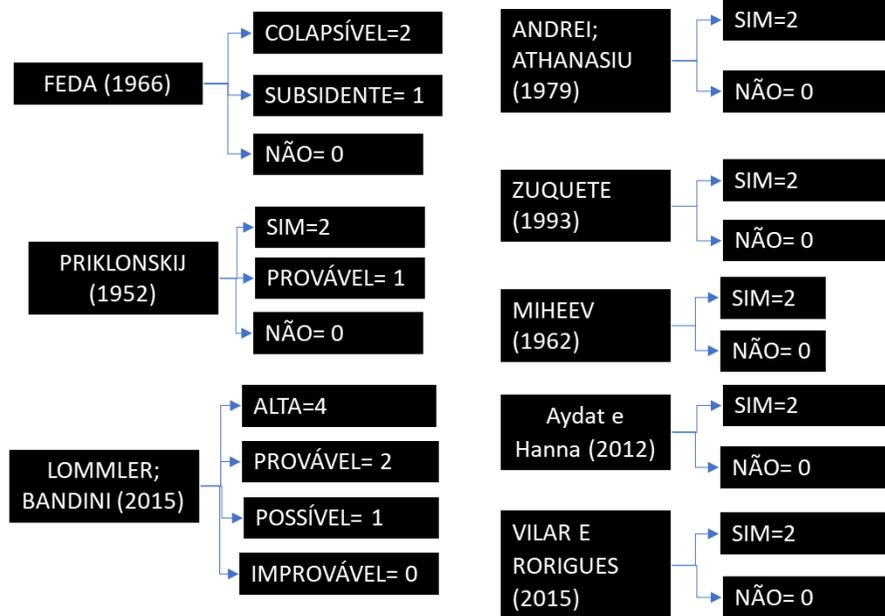
Entre os vários critérios adotados, para a constatação do fenômeno da colapsividade de solos, pode-se afirmar que pelo menos três deles, embora não tenham interferido na avaliação da suscetibilidade do referido fenômeno, não atenderam às expectativas: Priklonskij (1952), Miheev (1962) e Ayadat e Hanna (2012). O primeiro deles geralmente aponta para a suscetibilidade do fenômeno da colapsividade. Souza Neto (2004) cita que os métodos de avaliação de solos colapsíveis baseados na granulometria e propriedades plásticas podem ser limitados, pois, para a realização de alguns ensaios de caracterização, destrói-se a estrutura dos mesmos sobre a qual o comportamento colapsível é dependente. Por outro lado, o segundo e o terceiro critérios citados, geralmente apontam no caminho inverso. Possivelmente isto se deve ao fato de os autores terem desenvolvido estes critérios voltados para solos diferentes dos solos tropicais. Por outro lado, os critérios de FEDA (1966); Andrei e Athanasiu (1979); Zuquette (1993); Lommler e Bandini (2015); e Vilar e Rodrigues (2015) se mostraram bastante coerentes e atenderam às expectativas.

Tabela 17- Determinação do grau de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos – etapa geral.

PONTO DE MAPEAMENTO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA COLAPSIVIDADE																		GRAU DE SUSCETIBILIDADE		
			MIHEEV (1962)		PRIKLONSKIJ (1952)			FEDA (1966)			ANDREI; ATHANASIU (1979)		ZUQUETE (1993)		LOMMLER; BANDINI (2015)				Aydat e Hanna (2012)			VILAR E RORIGUES (2015)	
			SIM	NÃO	SIM	POS.	NÃO	COLAP.	SUBS.	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	ALTA	PROV.	POS.	IMPROV.	SIM	NÃO		SIM	NÃO
P1	Bi + C	0,82-1,10		X		X				X		X	X			X			X			X	<b>7</b>
P 2	C	0,33-0,82	X				X			X		X		X				X	X			X	<b>4</b>
P 3	BW1	0,2-0,60	X				X	X				X	X			X			X		X		<b>12</b>
P 3	Bw2	0,60-1,30	X				X	X				X	X			X			X		X		<b>12</b>
P4	C2	0,95-1,45	X				X			X		X		X			X		X			X	<b>5</b>
P4	C3	1,45-1,70	X				X			X		X		X			X		X			X	<b>5</b>
P 5	B w	0,00-2,00	X				X	X				X	X			X			X		X		<b>12</b>
P 6	Bi	0,40-0,60	X				X			x		X		X				X	X			X	<b>4</b>
P 6	C	0,60-1,00		X			X			x		X		X				X	X			X	<b>2</b>
P 7	Bn	1,50-5,00	X				X	X				X	X			X			X		X		<b>12</b>
P 7	C	> 5,00	X				X	X				X	X			X			X		X		<b>12</b>
P 8	Bn	0,00-1,37		X			X			X		X		X			X		X			X	<b>3</b>
P 9	C	>2,00		X			X			X		X		X		X			X			X	<b>4</b>
P 10	Bw1	0,00-1,50	X				X	X				X	X				X		X		X		<b>11</b>
P 10	C + B	1,50-2,80		X			X			X		X		X			X		X			X	<b>3</b>
P 11	C+R	0,20-3,00		X			X			X		X		X			X		X			X	<b>3</b>
P 12	B+C	0,00-2,00		X			X			X		X		X		X			X		X		<b>6</b>
P 14	Bw	0,20-1,20	X				X			X		X		X		X			X		X		<b>8</b>
P15	A + C	0,00-0,60		X			X			X		x		X			X		X			X	<b>3</b>
P16	Bw1	0,50-0,90	X				X			X	X			X			X		X		X		<b>9</b>

PONTO DE MAPEAMENTO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA COLAPSIVIDADE																		GRAU DE SUSCETIBILIDADE		
			MIHEEV (1962)		PRIKLONSKIJ (1952)			FEDA (1966)			ANDREI; ATHANASIU (1979)		ZUQUETE (1993)		LOMMLER; BANDINI (2015)				Aydat e Hanna (2012)			VILAR E RORIGUES (2015)	
			SIM	NÃO	SIM	POS.	NÃO	COLAP.	SUBS.	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	ALTA	PROV.	POS.	IMPROV.	SIM	NÃO		SIM	NÃO
P16	Bw2	0,90-2,15		X			X			X	X			X			X		X		X		<b>7</b>
P17	(B+C)+C	0,60-1,50		X			X			X		X					X		X		X		<b>2</b>
P22	Bw	2,00-2,60	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P23	Bt	0,25-0,70		x			x			x		X		X			X		X		X		<b>3</b>
P25	(A+B)+	0,40-1,00	X				X	X				X		X		X		X		X		X	<b>10</b>
P30	Bw	1,00-3,00	X				X	X				X	X			X		X		X		X	<b>12</b>
P34	Bt	0,20-1,20	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P36	Bt	0,60-1,50	X				X			X		X		X			X		X			X	<b>5</b>
P38	Bn	0,00-1,50	X				X			X		X		X			X		X			X	<b>5</b>
P49	Bn	0,40-2,30		X			X			X		X		X			X		X		X		<b>5</b>
P52	Bw	0,30-0,75		X			X			X		X		X			X		X			X	<b>3</b>
P54	Bn	0,40-0,75	X				X	X				X		X			X		X		X		<b>9</b>
P55	Bt	0,25-0,75		X			X			X		X		X			X		X		X		<b>5</b>
P56	Bw	0,30-2,00	X				X	X				X		X			X		X		X		<b>9</b>
P59	Bg	0,40-1,20		X			X		X			X		X			X		X			X	<b>4</b>
P 60	Bw1	0,20-0,80	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>11</b>
P 60	Bw2	0,60-2,00	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P63	Bw	0,40-1,60	X				X	X				X	X		X			X		X		X	<b>10</b>
P65	Bw2	1,20-1,50	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P66	Bw2	2,00-4,00	X				X	X				X		X			X		X		X		<b>9</b>
P80	Bw	3,50-5,00	X				X	X				X	X			X		X		X		X	<b>12</b>

PONTO DE MAPEAMENTO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA COLAPSIVIDADE																		GRAU DE SUSCETIBILIDADE		
			MIHEEV (1962)		PRIKLONSKIJ (1952)			FEDA (1966)			ANDREI; ATHANASIU (1979)		ZUQUETE (1993)		LOMMLER; BANDINI (2015)				Aydat e Hanna (2012)			VILAR E RORIGUES (2015)	
			SIM	NÃO	SIM	POS.	NÃO	COLAP.	SUBS.	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	ALTA	PROV.	POS.	IMPROV.	SIM	NÃO		SIM	NÃO
P81	Bw	1,00-2,00	X				X	X				X	X			X		X		X		<b>11</b>	
P87	Bw	0,70-2,00	X				X			X		X		X		X		X			X	<b>5</b>	
P89	Bt	0,30-1,20		X			X			X		X		X		X		X			X	<b>3</b>	
P93	B	0,70-2,00	X				X	X		X		X		X		X		X		X		<b>11</b>	
P95	H	0,00-0,20		X	X				X		X		X			X		X			X	<b>5</b>	
P95	Ag	0,20-0,40		X	X					X		X		X		X		X			X	<b>4</b>	
P104	Bw2	0,90-2,00	X				X	X			X		X			X		X		X		<b>14</b>	



GRAU DE SUSCETIBILIDADE
Altamente Suscetível = 13 - 18
Suscetível = 9 - 12
Pouco Suscetível = 5 - 8
Muito Pouco Suscetível = 0 - 4

Em função da enorme diversidade litológica, pedológica e morfológica da área de estudo, para a geração das unidades geológico-geotécnicas, se fez necessário associações tanto de caráter geológico como pedológico e morfométrico. De qualquer forma estas associações em nada interferiram nas principais características geotécnicas e na escolha de uma zona alvo para o prosseguimento dos trabalhos.

A geração de unidades geológico-geotécnicas foi baseada nas características morfométricas de declividade e hipsometria, nas características do substrato rochoso, na classificação pedológica e nas informações de sondagens geotécnicas. Estas características nortearam a compartimentação geotécnica preliminar e que, por sua vez, integralizadas às análises dos ensaios de caracterização geotécnica e principalmente a determinação do grau de suscetibilidade a colapsividade do solo redundaram nas unidades geológico-geotécnicas definitivas. As informações hipsométricas foram consideradas, haja vista que os solos que demonstraram maior suscetibilidade referem-se aqueles pertinentes as coberturas correlatas a Formação Rio Claro e sabidamente localizados em cotas próximas de 600.

Foram geradas um total de oito unidades geológico-geotécnicas, denominadas aqui de **I à VIII**, levando-se sempre em consideração os aspectos mais importantes para a avaliação de solos colapsíveis:

- **I:** Corresponde principalmente aos latossolos vermelhos e esporadicamente aos nitossolos vermelhos com substratos rochosos das formações Tatuí, Irati e as coberturas mais argilosas correlatas à Formação Rio Claro. A declividade é de até no máximo 8% e as profundidades destes perfis de solo variam bastante, sendo maiores em locais de relevo plano. Apresentam grau de suscetibilidade ao colapso bastante homogêneo (09 a 12: suscetível). A profundidade destes perfis de solo varia de 5 a 14m sendo que a unidade apresenta geralmente sedimentos argilo-arenosos e subordinamente argilo-siltosos. Geralmente estes solos se encontram acima do nível de água do lençol freático (NA). Quando o NA for encontrado, somente em profundidades superiores a 7m em média. De acordo com Oliveira e Monticeli (2018), os latossolos independentemente da textura, são permeáveis e de alta drenabilidade em função dos poros intercomunicáveis favorecendo

assim a infiltração de água para horizontes mais profundos. São solos não saturados bons indicadores de materiais de empréstimo e que apresentam baixa erodibilidade, boa capacidade de suporte, expansibilidade nula e baixa compressibilidade.

- **II:** Corresponde aos latossolos vermelhos e nitossolos vermelhos que apresentam como material de origem os solos residuais dos diques e sills de diabásio da Formação Serra Geral. Esta foi a unidade mais heterogênea quanto a suscetibilidade ao colapso (03 a 12: muito pouco suscetível a suscetível), possivelmente em função das associações necessárias assim contemplando maior intervalo de declividade e nem tanto as diferenças texturais granulométricas (argila siltosa, argila arenosa, silte arenoso e silte argiloso). Os perfis de solo são superiores a 3m e podem atingir até 15m. O NA geralmente se encontra abaixo dos perfis e quando encontrado, em profundidades médias superiores a 7m. De qualquer forma, foi possível verificar que a suscetibilidade ao colapso de solo é maior para relevos mais suaves. As características hídricas e o comportamento geotécnico seguem aproximadamente os da unidade I.
- **III:** Esta, sem dúvida, é a principal unidade geológico-geotécnica em se tratando colapsividade de solos. Apresenta-se com grau de suscetibilidade ao colapso de 10 a 14 (susceptível a altamente susceptível). Corresponde principalmente aos latossolos vermelho amarelos e argissolos vermelho-amarelos, ambos de textura média. Apesar de contemplar pequenas áreas de solos residuais da Formação Pirambóia, na área de estudo prevalecem aqueles originados das coberturas correlatas a Formação Rio Claro, localizados acima da cota 580 com declividade máxima de 8 % (relevo plano até no máximo suave ondulado). Granulometricamente são constituídos por sedimentos areno-argilosos e por vezes argilo-arenoso. A profundidade destes perfis pode variar de 10 a 20 m e geralmente se encontram acima do nível de água. As características hídricas e o comportamento geotécnico seguem aproximadamente os da unidade I.
- **IV:** Esta unidade geológico-geotécnica contempla os solos pedologicamente menos desenvolvidos (cambissolos háplicos,

neossolos litólicos e neossolos regolíticos) de baixa declividade (até no máximo 8%) e que têm como correspondentes litológicos as rochas das formações Tatuí, Irati e Corumbataí. Apresentam grau de suscetibilidade ao colapso 03 a 07 (muito pouco a pouco suscetível) e são sedimentos argilo-siltosos ou silto-argilosos. Os perfis de solo são pouco profundos (máximo 5 m) e o NA variando de seco até 4 m. De acordo com Oliveira e Monticeli, (2018), os cambissolos e neossolos litólicos só permitem boa infiltração da água nos horizontes superficiais tendendo ao escoamento e são característicos de alta erodibilidade.

**V:** Unidade geológico-geotécnica que contempla basicamente os argissolos em geral e esporadicamente os nitossolos háplicos originados das rochas das formações Tatuí, Irati e Corumbataí com declividades variadas. A unidade apresenta solos com grau de suscetibilidade 02 a 05 (muito pouco a pouco suscetível) e é constituída por sedimentos argilo-siltosos ou silto-argilosos. As profundidades dos perfis de solo variam de 1 a 10m assim como as profundidades dos NAs, de secos até 9m. De acordo com Oliveira e Monticeli (2018), os argissolos de textura argilosa permitem a infiltração de água com dificuldade no horizonte subsuperficial tendendo ao escoamento superficial e a depender do relevo permite a presença de lençol freático suspenso em períodos chuvosos. São solos de alta erodibilidade, boa capacidade de suporte, baixa compressibilidade e pode apresentar expansibilidade nos horizontes subsuperficiais.

- **VI:** Esta unidade geológico-geotécnica contempla os gleissolos e os neossolos flúvicos, solos com características hidromórficas e os aluviões ao longo das redes de drenagem da área de estudo. Possui relevo plano a suave ondulado. Apresenta grau de suscetibilidade ao colapso 4 (muito pouco suscetível) e seus sedimentos são principalmente argilosos, não obstante podem esporadicamente ser arenosos. A profundidade do perfil pode chegar até 3 m com NA pouco profundo. Segundo Oliveira e Monticeli (2018), os gleissolos não permitem a infiltração de água em função do lençol freático ser subaflorante ou até mesmo aflorante e que dão origem as nascentes. São solos saturados sujeitos a alagamentos e apresentam baixa capacidade de suporte, alta

compressibilidade e geralmente expansivos. Por sua vez, os neossolos flúvicos apresentam drenabilidade variável em função das diferenças texturais e apresentam alta erodibilidade.

- **VII:** Aqui são representados os cambissolos háplicos, os neossolos litólicos e os neossolos regolíticos tendo como seus correspondentes litológicos o diabásio de diques e sills da Formação Serra geral com declividade diversificada de 8 a 20%. Apresentam grau de colapsividade 05 a 11 (pouco suscetível a suscetível) de textura argilosa. Os perfis podem atingir no máximo 5m e o NA quando encontrado pode atingir 3m. As características hídricas e o comportamento geotécnico seguem aproximadamente os da unidade IV.
- **VIII:** Esta unidade geológico-geotécnica contempla os solos pedologicamente menos desenvolvidos (cambissolos háplicos, neossolos litólicos e neossolos regolíticos) e que têm como correspondentes litológicos as rochas das formações Tatuí, Irati e Corumbataí com declividades maiores que 8%. Apresentam grau de suscetibilidade ao colapso 03 a 07 (muito pouco a pouco suscetível). Constitui-se em sedimentos argilo-siltosos ou argilo-siltosos as vezes com fragmentos de rocha alterada e que podem apresentar alguma expansibilidade. Seus perfis são pouco profundos e geralmente secos. As características hídricas e o comportamento geotécnico seguem aproximadamente os da unidade IV.

A **Tabela 18** descreve as características morfométricas de declividade e hipsometria e as características pedológicas e litológicas das unidades geológico-geotécnicas enquanto a **Tabela 19** expressa a determinação dos graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade; as classificações granulométrica, textural, unificada e rodoviária; resultados do estudo de compactação; dados geotécnicos obtidos em furos de sondagem geotécnica (N-SPT e profundidade do nível de água das mesmas unidades).

**Tabela 18 - Descrições dos aspectos morfométricos, pedológicos e litológicos das unidades geológico-geotécnicas**

<b>Unidade</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Classe hipsométrica</b>	<b>Associação pedológica</b>	<b>Litologias</b>	<b>Unidades litológicas</b>
<b>I</b>	0 - 8	Geral	Latossolo vermelho (LV) + Nitossolo vermelho (NV)	Folhelhos /Siltitos/Argilitos	Fm. Tatuí + Fm. Irati + Fm. Corumbataí + *Fm. Rio Claro
<b>II</b>	0 - 20	Geral	Latossolo vermelho (LV) + Nitossolo vermelho (NV)	Diabásio	Fm. Serra Geral
<b>III</b>	0 - 8	580 - 670	Latossolo ou Argissolo vermelho amarelo de textura média (LVA + PVA)	Arenitos / Coberturas Cenozoicas	Fm. Pirambóia + *Fm. Rio Claro
<b>IV</b>	0 - 8	Geral	Cambissolo Háplico(CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Folhelhos/ Siltitos/Argilitos	Fm. Tatuí + Fm. Irati + Fm. Corumbataí
<b>V</b>	0 - 20	Geral	Argissolos em geral (PV/PVA) + Nitossolo Háplico (NX)	Folhelhos /Siltitos/Argilitos	Fm. Tatuí + Fm. Irati + Fm. Corumbataí
<b>VI</b>	0 - 8	457 - 550	Gleissolos + Neossolo Flúvico	Geral	Geral
<b>VII</b>	3 - 20	Geral	Cambissolo Háplico (CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Diabásio	Fm. Serra Geral
<b>VIII</b>	> 8	Geral	Cambissolo Háplico (CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Folhelhos /Siltitos/Argilito	Fm. Tatuí + Fm. Irati + Fm. Corumbataí
* Fm. Rio Claro = Cobertura correlata à Formação Rio Claro.					

Tabela 19. Características geotécnicas das unidades geológico-geotécnicas

Unidade	Grau de suscetibilidade ao colapso	Classificações Geotécnicas				Compactação (Energia normal)				N-SPT		N.A.
		Granulométrica	Textural	Unificada	Rodoviária	$\gamma_o$ max (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{ot}$ (%)	CBR (%)	Exp (%)	Até 3,0m	Impenetrável (m)	Prof (m)
I	9 a 12 (susctível)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argila arenosa</li> <li>Argila muito arenosa</li> <li>Argila siltosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argilosa</li> <li>Média argilosa</li> </ul>	CL ML	A - 4 A-5 A-6 A 7-5	1,57 a 1,80	16,8 a 24,5	5,0 a 17,0	0,0 a 0,1	2 a 6	5,0 a 14,0	Seco a > 7,0
II	03 a 12 (muito pouco suscetível a suscetível)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argila siltosa</li> <li>Argila arenosa</li> <li>Silte arenoso</li> <li>Silte argiloso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argilosa</li> <li>Muito argilosa</li> <li>Média Argilosa</li> </ul>	ML CH CL	A 7-5 A 7-6 A-6	1,51 a 1,81	8 a 25	4,5 a 7,6	0,0 a 0,8	3 a 8	3,0 a 15,0	Seco ou > 7,0
III	10 a 14 (susctível a altamente suscetível)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Areia argilosa</li> <li>Argila arenosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Média à argilosa</li> <li>Média argilosa</li> <li>Média arenosa</li> </ul>	SC SM CL	A-6 A-24 A-4	1,78 a 2,05	19,1 a 9,7	4 a 15,4	-	< 2 a 2	10,0 a 20,0	Seco ou > 18,0
IV	03 a 07 (muito pouco a pouco suscetível)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argila siltosa com fragmentos de rocha</li> <li>Silte argiloso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Média argilosa</li> <li>Média arenosa</li> <li>Argilosa</li> </ul>	CH CL MH	A 7-5 A 7-6 A-6	1,40 a 1,75	37,0 a 18,0	4,0 a 9,5	0,5 a 3,4	19 a > 50	1,0 a 5,0	Seco ou 1,0 a 4,0
V	02 a 05 (muito pouco a pouco suscetível)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Silte argiloso</li> <li>Argila siltosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argilosa</li> <li>Muito argilosa</li> <li>Média argilosa</li> </ul>	SM MH CL CH ML	A 2-6 A 7-5 A 7-6	1,51 a 1,63	26,5 a 23,3	4,7 a 17,0	0,0 a 0,5	04 a > 50	1,0 a 10,0	Seco ou 2,0 a 9,0

Unidade	Grau de suscetibilidade ao colapso	Classificações Geotécnicas				Compactação (Energia normal)				N-SPT		N.A.
		Granulométrica	Textural	Unificada	Rodoviária	$\gamma_o$ max (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{ot}$ (%)	CBR (%)	Exp (%)	Até 3,0m	Impenetrável (m)	Prof (m)
VI	4 (muito pouco a pouco suscetível)	• Argila siltosa • Outras	• Muito argilosa • Outras	CH MH	A 7-5	1,44	28,5	3,1	0,4	03 a 07	0,70 a 3,10	0,0 a 2,0
VII	05 a 11 (pouco suscetível a suscetível)	• Argila arenosa • Argila siltosa	• Argilosa	CL MH ML	A-6 A 7-5	1,61	24,8	7,3	-	08 a > 50	2,0 a 5,0	Seco ou 1,5 a 3,0
VIII	03 a 07 (muito pouco a pouco suscetível)	• Silte argiloso • Argila siltosa com presença de fragmentos	• Média argilosa • Argilosa • Média arenosa	CL CH MH	A 7-5 A 7-6 A-6	1,40 a 1,80	32,5 a 17,5	9,6	0,5 a 3,4	20 a >50	2,0 a 4,0	Seco

**Classificação dos graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos:**

- Muito pouco suscetível (0 a 4)
- Pouco suscetível (5 a 8)
- Suscetível (9 a 12)
- Altamente suscetível (13 a 18)

Baseando-se na análise integrada dos mapas de declividade e de hipsometria elaborados, dos mapas temáticos de geologia e pedologia, e na sistematização e análise de sondagens geotécnicas, foi possível a geração de uma compartimentação de unidades geológico-geotécnicas preliminares fazendo uso de análise multi layers com cruzamento de dados. Uma vez esta compartimentação preliminar ajustada após observações de levantamento de campo e integralizada aos aspectos geotécnicos observados através da análise de resultados dos ensaios estabelecidos para a etapa geral do detalhamento progressivo foi possível a elaboração da carta geotécnica contemplando as unidades geológico-geotécnicas definitivas. A carta geotécnica aplicada a solos colapsíveis da etapa geral do mapeamento da área de estudo elaborada em escala 1: 50.000 e apresentada no **APÊNDICE F** expressa as unidades geológico-geotécnicas.

De acordo com os critérios adotados para a avaliação do fenômeno da colapsividade apresentados na Tabela 16, de acordo com os estabelecidos pela **Tabela 18** e **Tabela 19** e após a elaboração da carta geológico-geotécnica apresentada no **APÊNDICE F**, fica evidente que as zonas assentadas sobre as coberturas cenozóicas correlatas à Formação Rio Claro, pedologicamente denominadas de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) ou esporadicamente Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), de textura média e que correspondem a unidade geológico-geotécnica **III** são as que denotam serem mais suscetíveis ao fenômeno da colapsividade, apresentando graus de suscetibilidade ao colapso variando de 10 a 14 (suscetível a altamente suscetível), conforme demonstração da **Tabela 17**, e regionalmente são, de acordo com o sistema unificado de classificação do solo, classificadas como CL, SM e SC e de acordo com o sistema rodoviário como A 6, A 4 e A 2-4, conforme demonstrados no **APÊNDICE E**. Estas coberturas cenozóicas localizadas em locais com cotas situadas a partir do intervalo entre 570 e 580 metros, podem atingir até vinte metros de espessura, conforme demonstra o perfil de sondagem a percussão executada no Bairro Dois Córregos apresentado na **Figura 38** e na **Figura 39** ou outra executada no Bairro da Água Seca apresentado na **Figura 40**. Via de regra, as sondagens executadas nestes materiais não encontraram o nível freático antes da mudança de material. Os materiais descritos nestas sondagens, por vezes são descritos como areia argilosa e por vezes como argila arenosa. Isto se deve ao fato de que as descrições normalmente são feitas de acordo com a identificação tátil visual e nem sempre é realizada por profissionais

experientes. Os valores do N-SPT são relativamente baixos (2 a 8) nos primeiros oito metros das perfurações e vão aumentando gradativamente para valores próximos de 20 até o contato com camadas subjacentes. De qualquer forma, foi possível estabelecer uma correlação destes materiais geológicos descritos pelas sondagens geotécnicas com aqueles observados em campo nos trabalhos de mapeamento. Além disto, apesar que os índices de resistência a penetração do solo N-SPT baixos não serem conclusivos para detectar solos colapsíveis, os mesmos corroboram com as análises dos resultados dos ensaios tecnológicos de algumas amostras coletadas nesta unidade geológico-geotécnica e que apresentaram alto grau de suscetibilidade ao colapso de acordo com critérios estabelecidos e descritos anteriormente.

Como características comportamentais das unidades geológico-geotécnicas que contemplam solos que apresentam alto grau de susceptibilidade ao fenômeno da colapsividade, pode-se citar o alto poder de absorção de água e de alta drenabilidade, provocando baixos escoamentos superficiais favorecendo assim a infiltração de água para horizontes mais profundos, em função da alta porosidade e expressivos índices de vazios. Por se situarem em áreas de baixa declividade apresentam baixa potencialidade à erosão superficial. São solos não saturados bons indicadores de materiais de empréstimo e que apresentam baixa erodibilidade, boa capacidade de suporte, expansibilidade nula e baixa compressibilidade.

Não obstante, o fato destas coberturas denotarem uma maior suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos, outras unidades geológico-geotécnicas não devem ser negligenciadas, em especial as unidades geológico-geotécnicas I e II que se apresentam muitas vezes como suscetíveis ao colapso. São solos lateríticos muito frequentes na área de estudo.

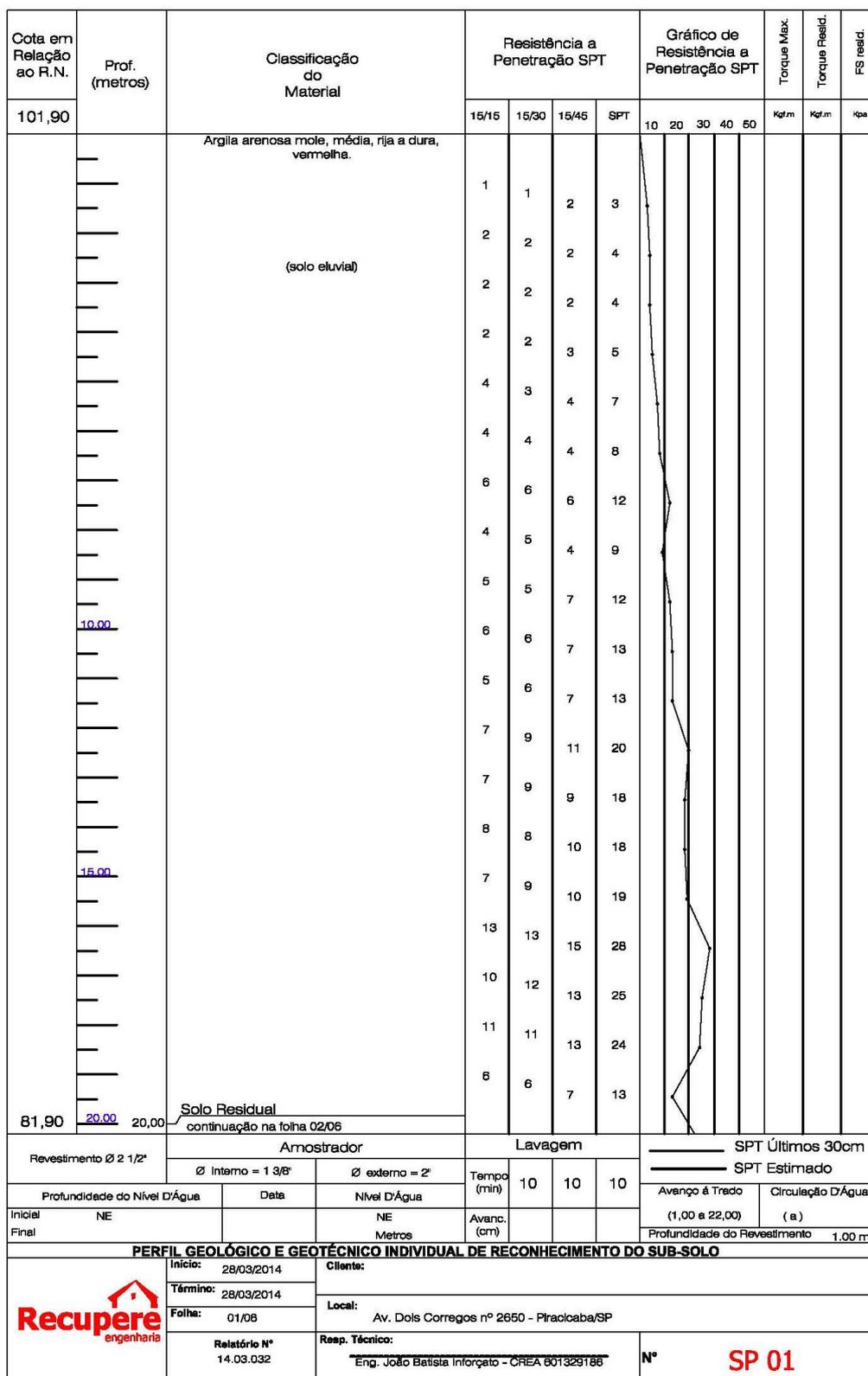


Figura 38. Perfil de sondagem típico da cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)



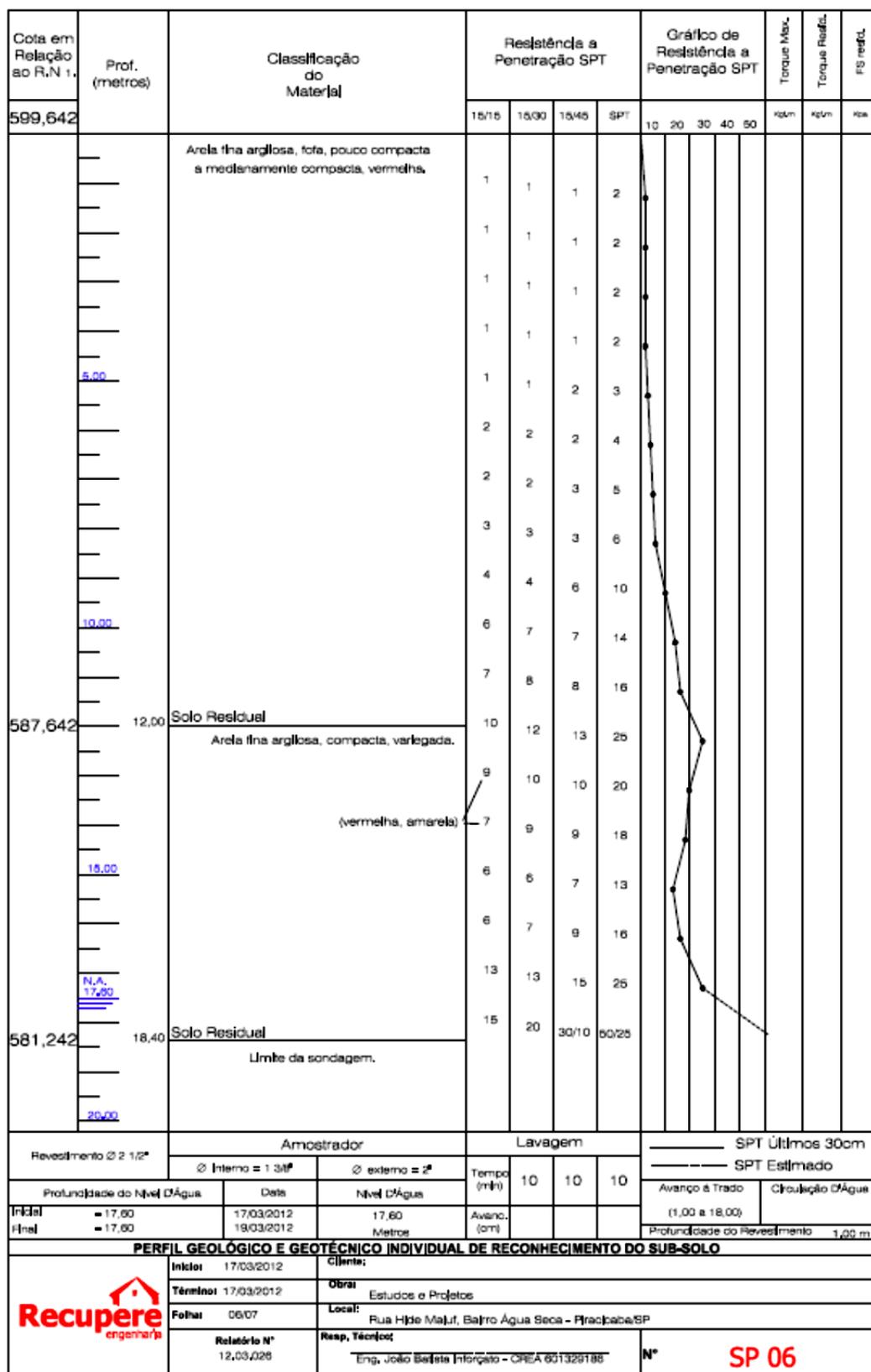


Figura 40. Perfil de sondagem típico da cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), localizado no Bairro Água Seca

Esta pesquisa evidencia que, grande parte da área urbanizada se encontra implantada sobre solos classificados com problemas moderados a severos de colapsividade. Contudo, até o momento, não foi encontrado nenhum relato de problema grave associado à colapsividade dos solos. Por se tratar de uma característica pouco estudada é provável que recalques ocorridos possam ter sido associados a problemas estruturais e desta forma não foram relatados. A Defesa Civil de Piracicaba apresentou um único registro, que provavelmente seja relacionado ao fenômeno da colapsividade. Isto ocorreu em meados de 2018 e o evento foi registrado como erosão hídrica interna causada por vazamento de água. Segundo Verachtert et al. (2010), alguns solos são propensos à erosão do tipo piping. Neste caso, a macroporosidade destes solos pode conduzir a água para uma rede de tubulação subterrânea e, eventualmente provocar um colapso do solo e o desenvolvimento de grotas, conforme pode ser observado na **Figura 41** e na **Figura 42**. O local citado não consta dos pontos visitados neste trabalho, mas localiza-se nas coordenadas 7.479,833 x 234,095 km e assentado sobre a classe I (ANEXO F).



**Figura 41. Recalque ocorrido na calçada da Rua Anhumas, 150 no Bº Perdizes  
(FOTO: Defesa Civil Piracicaba)**



**Figura 42. Recalque na Rua Anhumas, 150 no Bº Santa Rita (sala interna)  
(FOTO: Defesa Civil Piracicaba).**

## 6.2. Resultados Obtidos na Etapa Intermediária do Detalhamento Progressivo

O **APÊNDICE G** apresenta o mapa dos pontos visitados no levantamento de campo realizado na zona escolhida na etapa geral para o prosseguimento do detalhamento progressivo (Etapa Intermediária) da área de estudo, incluindo-se os pontos de mapeamento da etapa anterior localizados nesta zona e as localizações de furos de sondagem geotécnica executadas nesta mesma zona, em escala 1:50.000.

Para uma melhor visualização e compreensão geomorfológica da zona escolhida para esta etapa do detalhamento progressivo, foram elaboradas 3 seções geológico-pedológicas: **A-B**; **A-C**; e **A-D**, cujas coordenadas são abaixo apresentadas e demonstradas nas **Figura 43**, **Figura 44** e **Figura 45**, respectivamente.

- A: 7.485,03 x 232,29 km
- B: 7.487,31 x 231,77 km
- C: 7.483,70 x 229,07 km
- D: 7.478,82 x 233,70 km

Inicialmente esperava-se que os solos da zona alvo contemplados da unidade geológico-geotécnica **III** da etapa geral e que localmente correspondem aos latossolos vermelho-amarelos e argissolos vermelho-amarelos, ambos de textura média e originários da cobertura cenozóica correlata a Formação Rio Claro, ocorreriam aproximadamente a partir da cota 580 m, ou pouco menos, até a cota aproximada de 620m, sendo que a partir daí, ocorreriam solos da unidade geológico-geotécnica **I**, também da etapa geral, e que localmente correspondem aos latossolos vermelhos de textura mais argilosa, originários também de coberturas cenozóicas correlatas à Formação Rio Claro. Entretanto, com a elaboração de seções geológicas esquemáticas da zona alvo escolhida para a etapa intermediária do detalhamento progressivo e nas observações de campo, foi possível constatar que acima da cota aproximada de 640m voltam a surgir os latossolos vermelho-amarelos de textura média.

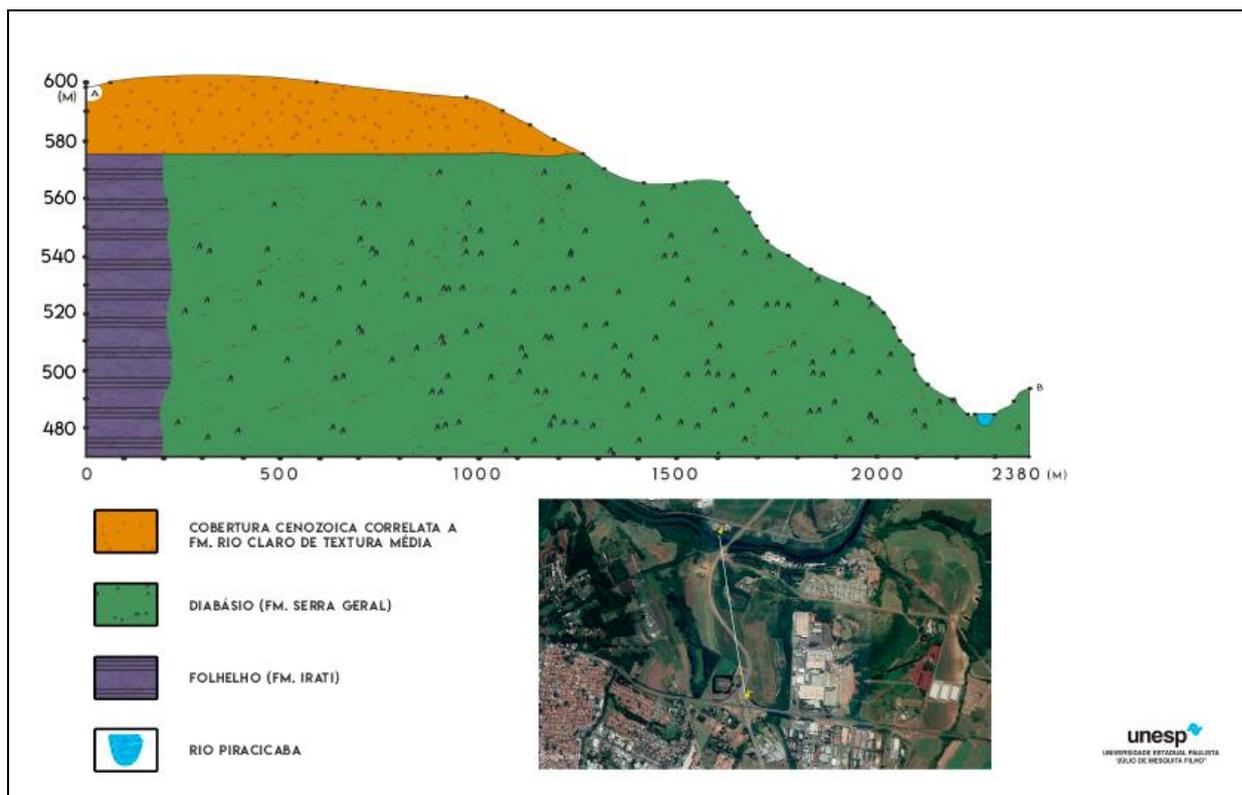


Figura 43. Seção topográfica AB

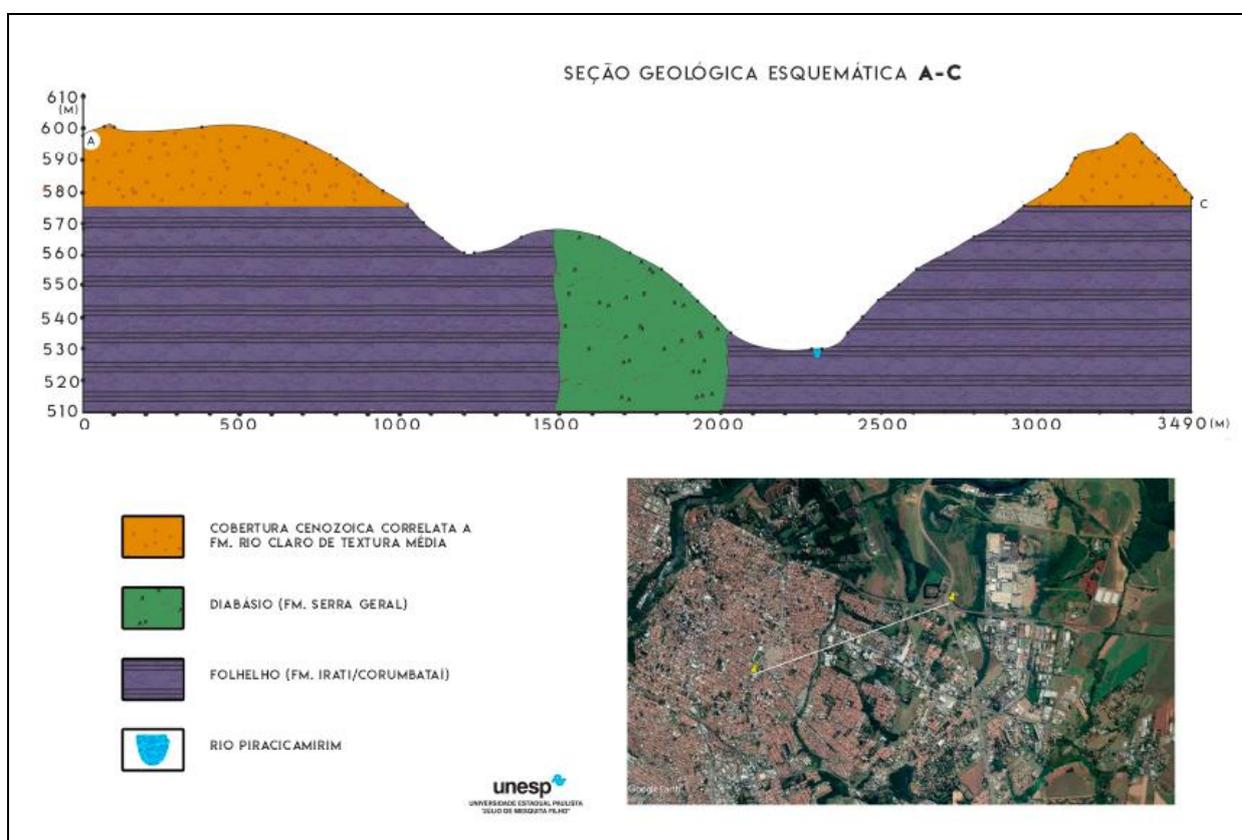


Figura 44. Seção topográfica AC.

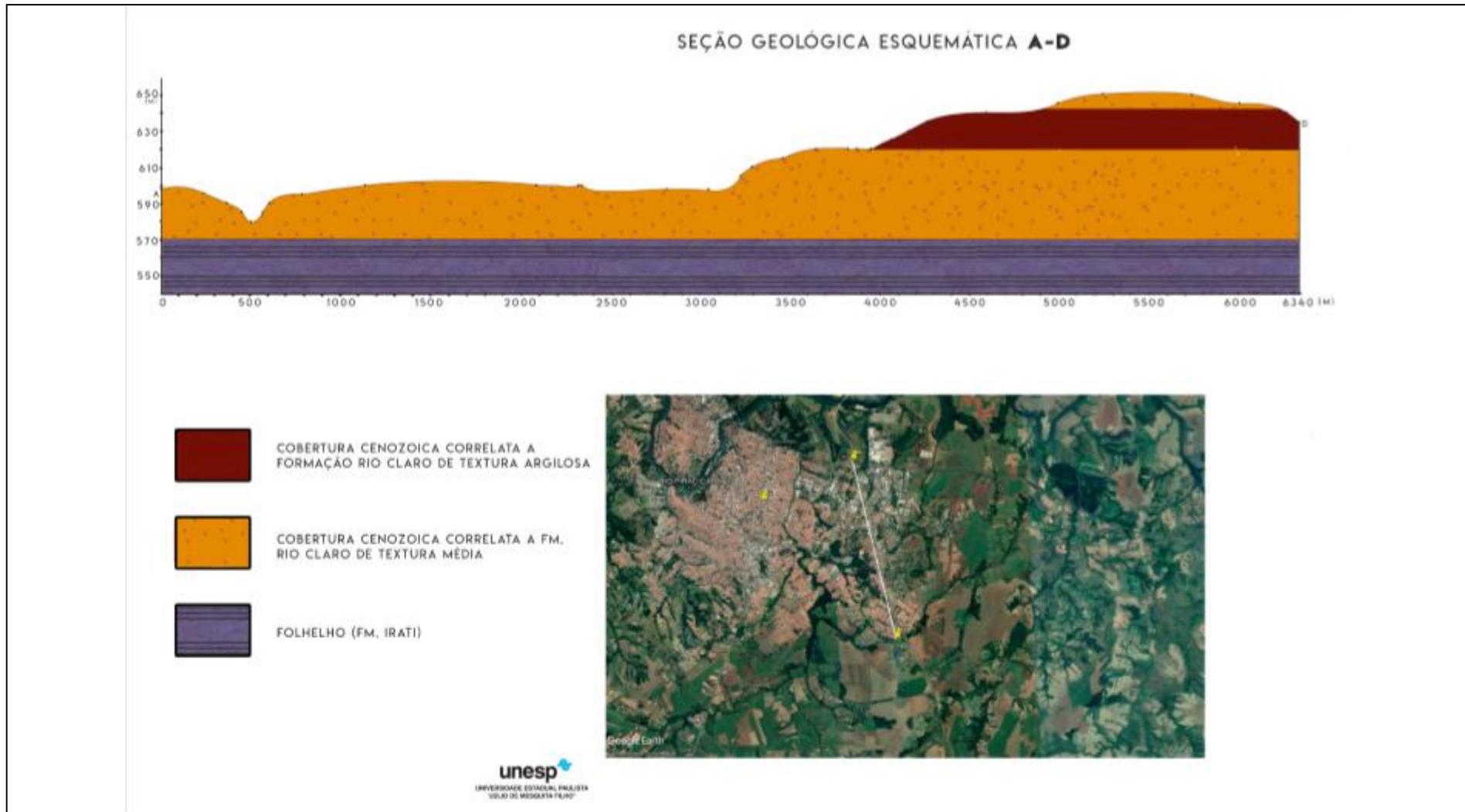


Figura 45. Seção topográfica AD.

A **Tabela 20** apresenta a classificação pedológica e litológica dos pontos de mapeamento realizados na zona escolhida para esta etapa intermediária do detalhamento progressivo. Incluem-se aí os pontos de mapeamento da etapa anterior (etapa geral), porém localizados dentro desta zona alvo.

Os resultados dos ensaios laboratoriais de caracterização, de granulometria e compactação de solo complementares executados nesta segunda etapa do detalhamento progressivo e que seguem os padrões adotados na primeira etapa da metodologia detalhada e são apresentados na **Tabela 21**. Incluem-se aí, também, os resultados obtidos em ensaios de caracterização de amostras obtidas em etapa anterior, mas localizadas nesta zona alvo da Etapa Intermediária.

A **Tabela 22** apresenta os graus de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade dos solos das amostras da zona alvo e que foram submetidas aos ensaios geotécnicos de caracterização e compactação. A determinação deste grau de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade segue os mesmos procedimentos adotados na etapa geral.

**Tabela 20. - Classificação pedológica e litológica dos pontos de mapeamento – Etapa intermediária.**

PONTO MAPEADO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE	COORDENADAS (km)		LOCALIDADE	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA*	OBS
				N	E				
P18	A	0,00-0,50	Ap	7.483,227	228,894	Av. Independência	FM. Corumbataí	Cambissolo Háptico (CX)	4,00 (mar/17)
	B	0,50-0,75	Bi						
	C	0,75-1,10	C						
	R	1,10-4,00	R						
P22	A	0,00-0,25	Ap	7482,641	231,253	Av. Dois Córregos, 1481	FM. Rio Claro	Argissolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	Bt	0,25-1,00	Bt						
	Bw	1,00 – 3,50	Bw						
P34	A	0,00-0,20	Ap	7483,459	229,243	Travessa das Saudades - Nova América	FM. Rio Claro	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,20-1,00	Bt						
P52	A	0,00-0,30	At	7482,845	233,974	Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,30-0,75	Bw						
P59	A	0,00-0,40	At	7.483,426	230,102	Edifício Por do Sol - Piracicamirim	Depósito Quaternário	Neossolo Flúvico (RY)	
	B	0,40-1,20	C						
P60	A	0,00-0,20	Ap	7482,818	230,927	Av. Dois Córregos - em frente ao n° 1096	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-2,00	Bw1 + Bw2						
P61	B2	1,00-2,00	Bw2	7482,794	232,609	Cond Piazza Verona - Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P63	A	0,00-0,40	At	7479,028	232,961	Campo dos Condes - Taquaral	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho (LV)	
P65	B	0,00-0,35	Ap + (A+B)	7485,350	231,369	ESALQ/Aeroporto	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	A	0,35-1,90	Bw1 + Bw2						
P71	B	0,00-0,40	Ap	7476,741	233,426	Anel Viário do CEASA	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	A	0,40-3,00	Bw						
P81	B1	0,00-1,00	Bw1	7481,854	233,207	Rod. Açúcar km 159- RECUPERE	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B2	1,00-2,00	Bw2						
P88	A	0,00-6,00	At	7.483,389	228,910	Av. Independência X R. Ipiranga (escadaria)	FM. Corumbataí	Cambissolo Háptico (CX)	2,50 (fev/19)
P101	A	0,00-0,20	Ap	7.483,651	229,434	Av. Barão de Piraci//- próx. Cemitério	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-2,40	Bw						

PONTO MAPEADO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE	COORDENADAS (km)		LOCALIDADE	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA*	OBS
				N	E				
P102	A	0,00-0,20	Ap	7.481,039	232,444	Bº Pompéia	FM. Tatuí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B1	0,20-0,60	Bt1						
	B2	0,60-1,50	Bt2						
P104	A	0,00-0,20	Ap	7.480,122	233,082	R. Eduardo Freitas Salles s/n-CECAP	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B1	0,20-0,90	Bw1						
	B2	0,90-2,00	Bw2						
P109	B	0,00-1,50	Bw	7482,755	223,662	Av, Dois Córregos, em frente ao nº 3977	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P110-a	B	0,00-1,50	Bw	7.485,016	231,793	Rod. Luís de Queiróz km 159	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P110-b	B	0,00-3,00	Bw	7.485,024	231,694	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P110-c	B	0,00-3,50	Bw	7.485,030	231,624	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P110-f	B	0,00-7,00	Bw	7,485,047	231,454	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P110-g	B	0,00-6,00	Bw	7.485,051	231,414	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	presença de cascalho fino na base
P110-h	B	0,00-10,00	Bw	7.485,060	231,318	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	esbranquiçado
P110-i	B	0,00-8,00	Bw	7.485,080	231,204	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	esbranquiçado
P110-j	B	0,00-5,00	Bw	7.485,123	231,030	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	C	5,00-6,50	C						
P110-k	B	0,00-5,50	Bw	7.485,131	231,011	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	presença de conglomerado
	C	5,50-6,50	C						
P110-l	B	0,00-5,00	Bw	7.485,140	230,965	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	silte argilo-arenoso
	C	5,00-7,00	C						
P110-m	B	0,00-4,00	Bw	7.485,142	230,964	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	nível conglomerático na base
	C	4,00-6,00	C						estratificação cruzada

PONTO MAPEADO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE	COORDENADAS (km)		LOCALIDADE	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA*	OBS
				N	E				
P110-n	B	0,00-2,00	Bw	7.485,199	230,840	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	C	2,00-5,00	C						
P110-o	C	0,00-4,00	C	7.485,208	230,817	Rod. Luís de Queiróz	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	Final do LVA
P111	B	0,00-3,00	Bw	7.480,816	233,414	Rod. Do Açúcar- Bº Santa Rita	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	
P112	R	0,00-0,60	R	7.481,666	232,731	Jd. Santa Inês	FM. Irati	Cambissolo Háplico (CX)	
P113	B	0,00-1,20	Bw	7.482,338	233.830	Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P114	A	0,00-0,10	Ap	7.482,163	232,975	Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,10-0,70	Bw						
P115	B	0,00-2,00	Bw	7.484,752	231,615	Sertãozinho	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	

Tabela 21. Resultados obtidos em ensaio de laboratório – Etapa intermediária

AMOSTRA	PROFUNDIDADE (m)	HORIZONTE	ÍNDICES FÍSICOS							COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)							ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA (%)			COMPACTAÇÃO						
			ENERGIA NORMAL			ENERGIA MODIFICADA			G	SG	SM	SF	M	C	Ø<2,0 0mm	LL	LP	IP	hot	γo máx	CBR	hot	γo máx	CBR	Exp	
			γn	h	γo	δ	e	η																		SR
P22 B	2,00-2,60	Bw	1,632	5,98	1,540	2,615	0,70	41,18	22,34	0,5	0,5	20,0	38,0	13,0	28,0	42,03	23,40	13,50	9,90	11,30	1,946	12,49	9,38	2,063	45,48	-
P34 B	0,20-1,20	Bt	1,644	3,52	1,588	2,663	0,68	40,37	13,85	-	1,5	33,5	37,0	5,0	23,0	29,42	15,45	11,89	3,56	9,65	2,045	13,60	8,15	2,11	22,63	-
P52 B	0,30-0,75	Bw	1,805	19,48	1,511	2,744	0,82	45,05	65,19	-	2,0	28,0	24,0	3,0	43,0	46,83	24,40	16,88	7,52	16,15	1,797	3,77				
P59	0,40-1,20	Bg	1,957	25,37	1,561	2,585	0,66	39,76	96,87	0,5	1,0	1,5	11,0	23,5	62,5	94,62	53,80	31,17	22,63	28,50	1,436	3,15				
P60 B2	0,80-2,00	BW2	1,523	10,70	1,376	2,681	0,95	48,64	30,20	0,5	1,0	14,0	35,0	19,0	30,5	54,28	24,45	15,37	9,06	14,00	1,854	4,82	6,92	2,075	52,10	-
P63 B	0,40-1,60	Bw	1,518	11,03	1,367	2,705	0,98	49,46	30,48	-	1,0	16,0	24,5	13,5	45,0	62,06	37,60	21,24	16,36	18,50	1,742	7,77				
P65 B	1,20-1,50	Bw	1,668	9,25	1,527	2,563	0,68	40,48	34,86	-	1,5	26,5	47,5	4,5	20,0	33,09	19,00	16,05	2,95	10,15	2,004	15,40	8,80	2,025	40,09	-
P81 B	1,00-2,00	Bw	1,671	14,06	1,465	2,623	0,79	44,16	46,68	-	2,5	27,5	25,0	7,0	38,0	45,57	22,00	14,00	8,00	13,48	1,883	8,55	11,80	2,025	32,43	-
P104 B	0,20-1,60	Bw	1,605	13,03	1,420	2,641	0,65	39,24	52,94	-	1,0	27,0	37,0	12,5	22,5	45,36	21,75	14,34	7,41				11,15	2,025	34,92	-
P111 B	0,00-0,50	Bw	1,413	11,17	1,261	2,732	1,17	53,83	28,09	-	1,5	21,0	29,0	9,0	39,5	54,63	26,70	18,20	8,50				18,60	1,685	4,08	0,20

Tabela 22. Determinação do grau de suscetibilidade- Etapa Intermediária

PONTO DE MAPEAMENTO	HORIZONTE	PROFUNDIDADE	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA COLAPSIVIDADE																		GRAU DE SUSCETIBILIDADE		
			MIHEEV (1962)		PRIKLONSKIJ (1952)			FEDA (1966)			ANDREI; ATHANASIU (1979)		ZUQUETE (1993)		LOMMLER; BANDINI (2015)				Aydat e Hanna (2012)			VILAR E RORIGUES (2015)	
			SIM	NÃO	SIM	POS.	NÃO	COLAP.	SUBS.	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	ALTA	PROV.	POS.	IMPROV.	SIM	NÃO		SIM	NÃO
P22	Bw	2,00-2,60	X				X	X		X	X		X				X		X		X		<b>13</b>
P34	Bt	0,20-1,20	X				X	X		X		X					X		X		X		<b>13</b>
P52	Bw	0,30-0,75		X			X			X		X		X			X		X			X	<b>3</b>
P59	Bg	0,40-1,20		X			X		X			X		X			X		X			X	<b>4</b>
P 60	Bw2	0,60-2,00	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P63	Bw	0,40-1,60	X				X	X				X	X			X		X			X		<b>10</b>
P65	Bw2	1,20-1,50	X				X	X			X		X				X		X		X		<b>13</b>
P81	Bw	1,00-2,00	X				X	X				X	X				X		X		X		<b>11</b>
P104	Bw2	0,90-2,00	X				X	X			X		X			X		X		X		X	<b>14</b>
P111	Bw	0,00-0,50	X				X	X				X	X			X		X		X		X	<b>12</b>



### GRAU DE SUSCETIBILIDADE

Altamente Suscetível = 13 - 18

Suscetível = 9 - 12

Pouco Suscetível = 5 - 8

Muito Pouco Suscetível = 0 - 4

Os resultados obtidos nos ensaios edométricos de amostras indeformadas obtidas em pontos de mapeamento nesta segunda etapa do detalhamento progressivo são apresentados na **Tabela 23** e nos gráficos apresentados na **Figura 46**, **Figura 47**, **Figura 48** e na **Figura 49**.

**Tabela 23. Resultados edométricos de amostras indeformadas – Etapa intermediária**

AMOSTRA	ESTÁGIO (Tensão) kPa	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	CC	IC (%)	GS
<b>P22 (2,00 - 2,50)</b>	12,5	0,00289	-	18,06	Severo
	25	0,00116			
	50	0,00221			
	100	0,00243			
	200	0,00433			
	200 + Inundação	0,00123			
	400	0,00770			
<b>P34 (3,50 - 4,00)</b>	12,5	0,01017	0,277	18,89	Severo
	25	0,00269			
	50	0,00175			
	100	0,01899			
	200	0,00941			
	200 + Inundação	0,00240			
	400	0,01065			
<b>P65 (1,00 - 2,00)</b>	1	0,00053	-	24,31	Severo
	9	0,01029			
	26	0,01398			
	56	0,04576			
	101	0,01795			
	200	0,01564			
	440	0,04335			
<b>P81 (1,00 - 1,50)</b>	12,5	0,00261	-	21,83	Severo
	25	0,02515			
	50	0,00808			
	100	0,01187			
	200	0,00916			
	200 + Inundação	0,00440			
	400	0,01395			
<b>CV</b>	Coeficiente de adensamento				
<b>CC</b>	Índice de compressão				
<b>IC</b>	Índice de Colapsividade				
<b>GS</b>	Grau de Suscetibilidade				

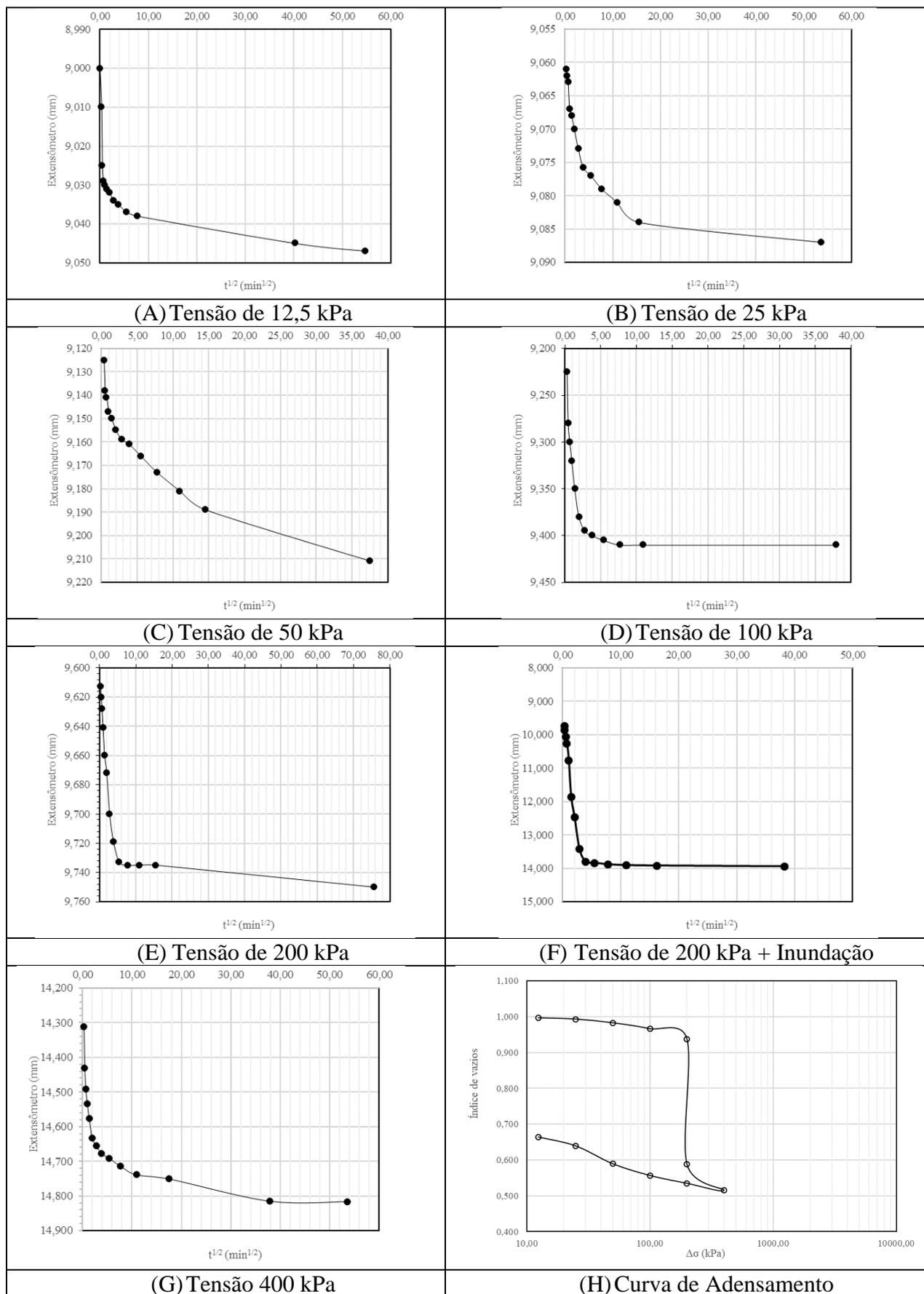


Figura 46. Gráficos de adensamento da amostra P22 (2,00 a 2,50m).

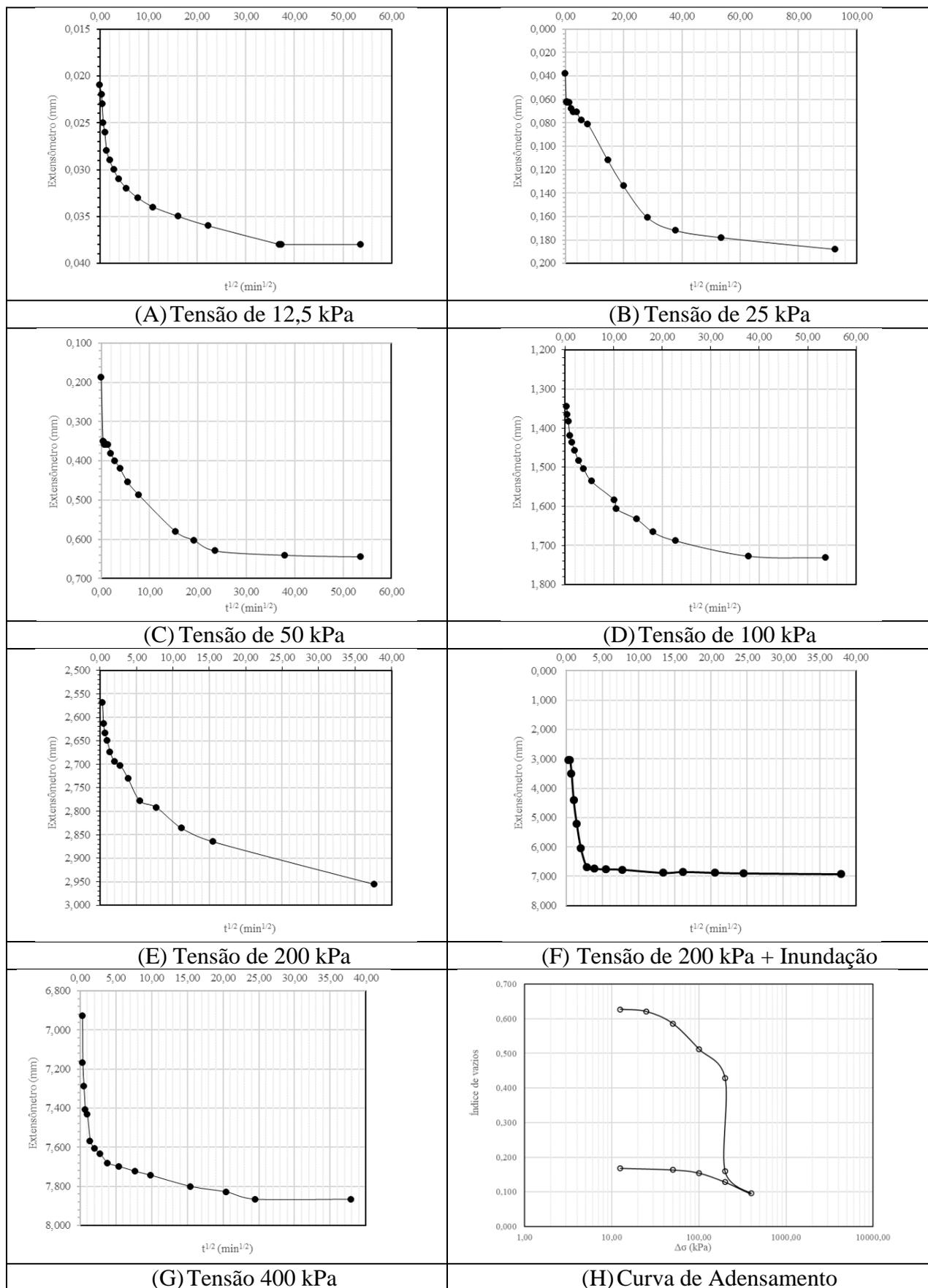


Figura 47. Gráficos de adensamento da amostra P34 (3,50 a 4,00 m).

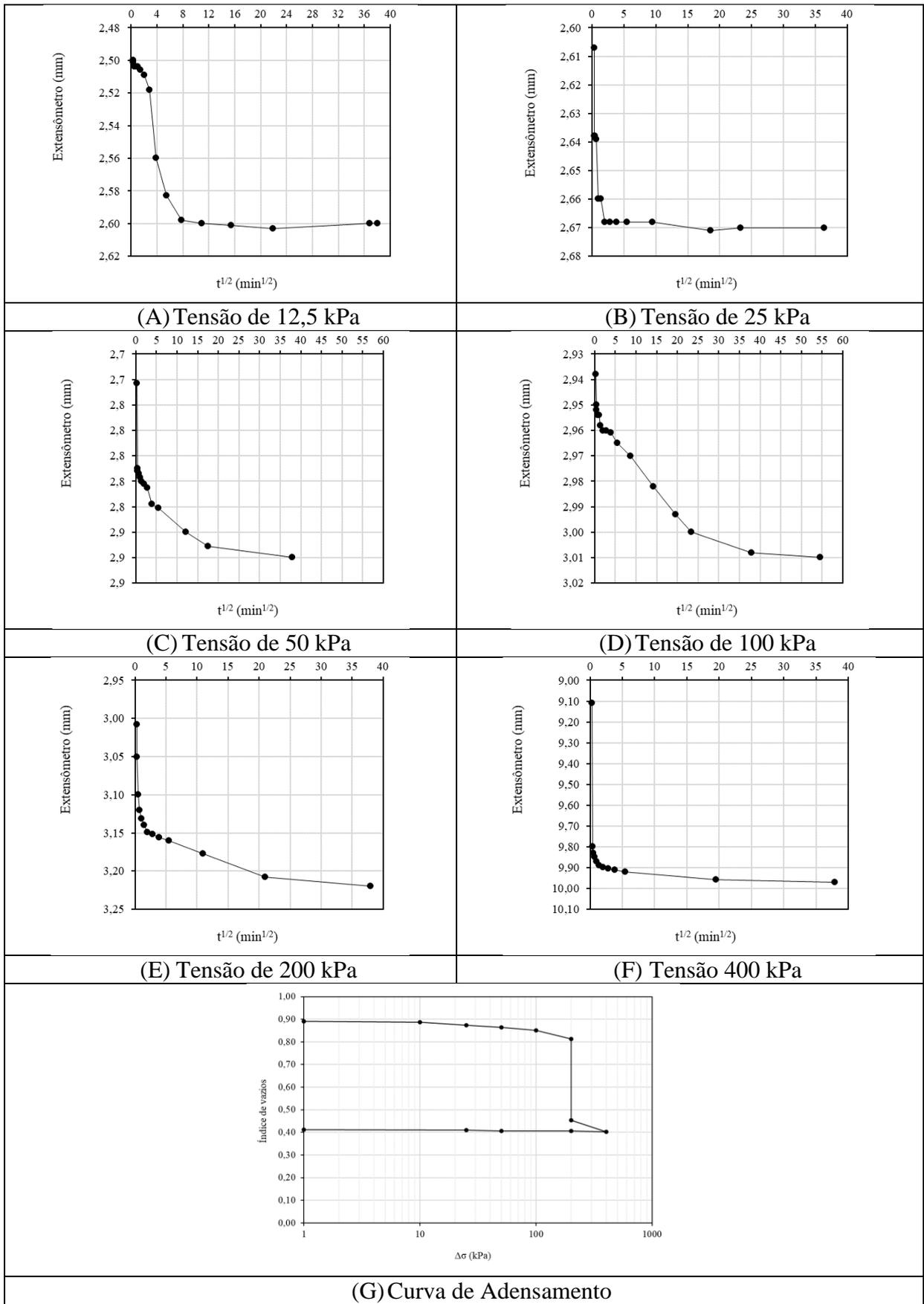


Figura 48. Gráficos de adensamento da amostra P65 (1,00 a 2,00 m).

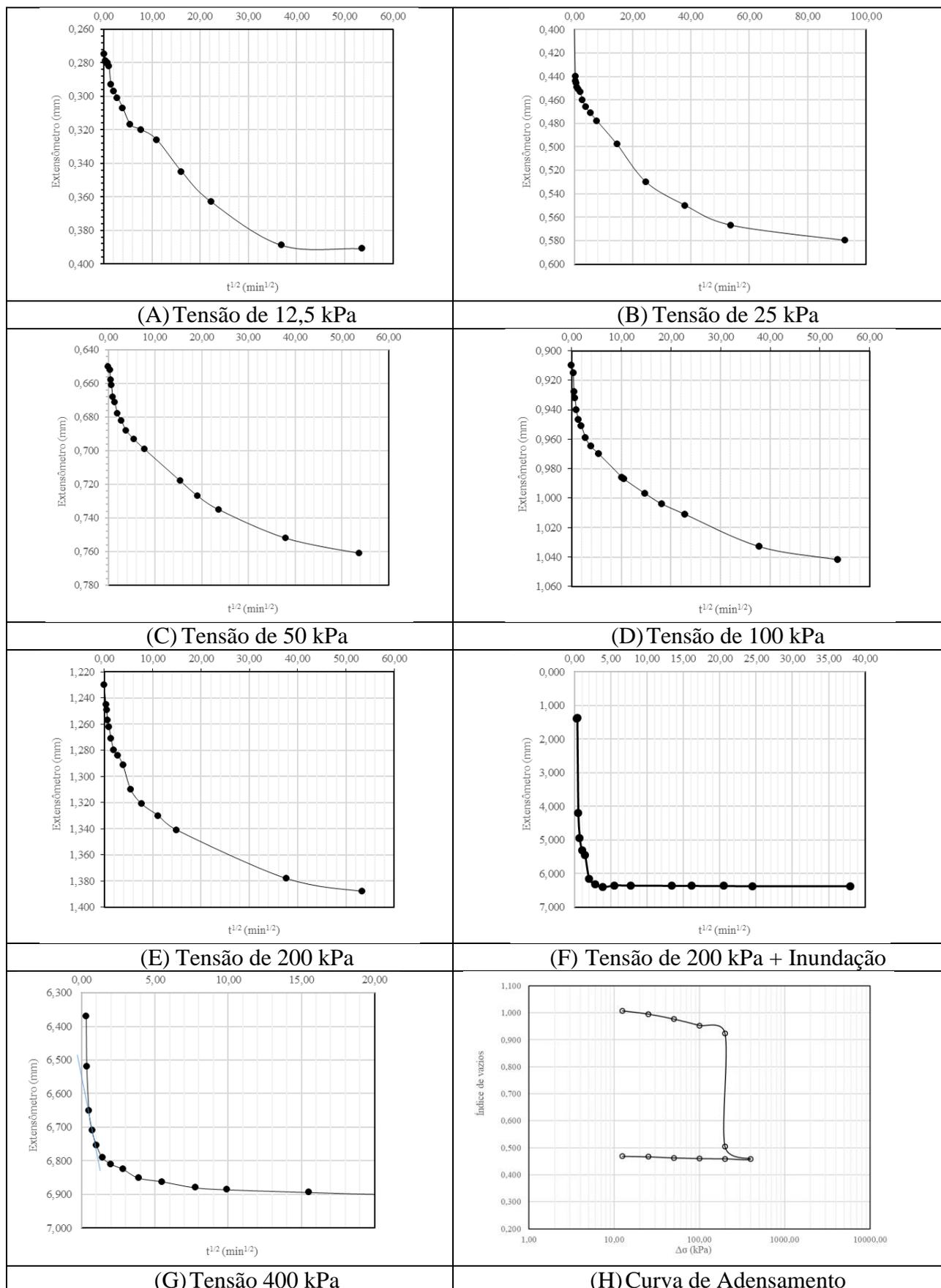


Figura 49. Gráficos de adensamento da amostra P81 (1,00 a 1,50 m)

Os resultados obtidos nos ensaios edométricos de amostras indeformadas coletadas nesta fase, além de nortear a escolha de um local para o prosseguimento do mapeamento em sua etapa de detalhe, mostram-se bastante compatíveis com as expectativas, haja vista que a determinação dos graus de suscetibilidade ao colapso apontados ainda na etapa geral já indicavam estes solos como sendo suscetíveis a altamente suscetíveis ao fenômeno.

O critério de identificação de solos colapsíveis proposto por Gaaver (2012) que relaciona a massa específica seca obtida por compactação de energia modificada e o limite de liquidez do referido solo é apresentado na **Tabela 24**.

**Tabela 24. Correlação do CBR e o Limite de Liquidez (critério de Gaaver, 2012)**

Ponto	$\sigma_0$ max (KN/m <sup>3</sup> ) Energia Modificada	LL (%) Limite de Liquidez	Critério de Gaaver
P22	20,24	23,40	Não
P34	20,74	15,45	Não
P52		24,40	-
P60	20,36	24,45	Não
P65	19,87	19,00	Não
P81	19,87	22,00	Não
P104	20,25	21,75	Sim
P111	16,50	26,70	Não

O referido critério foi adotado para verificar uma possível corroboração com a presumível colapsividade baseada na constatação das análises dos resultados dos ensaios laboratoriais de caracterização e ensaios edométricos. Tendo em vista que

apenas uma amostra, daquelas com alto grau de suscetibilidade ao colapso, se enquadrou neste critério, deduz-se que o mesmo não foi corroborativo para estes tipos de solos. Provavelmente o critério adotado pelo autor seja mais bem aplicado para os solos mais granulares, tais como os solos eólicos (loess).

As classificações geotécnicas, uma vez integralizadas aos outros aspectos fisiográficos, que auxiliaram na geração das unidades geológico-geotécnicas são apresentadas na **Tabela 25**. Apesar destas classificações não serem conclusivas para efeito de avaliação da suscetibilidade dos solos ao colapso, elas dão uma noção de comportamento colapsível em nível regional. As referidas classificações permitem associar a qualidade dos solos e dá uma noção para efeito de aplicação no âmbito dos empreendimentos civis na área de geotecnia.

**Tabela 25. Classificações Geotécnicas das Amostras Ensiadas (Granulométrica; Textural; Unificada; e rodoviária)**

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN - DIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE DIAGNÓSTICO	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA			
				Granulométrica	TEXTURAL *	UNIFICADA **	RODOVIÁRIA ***
P22	P22 B	2,00-2,60	Bw	Areia Argilosa	Média Argilosa	SC	A - 4
P34	P34 B	0,20-1,20	Bt	Areia Argilosa	Média Arenosa	SM	A 2 - 4
P52	P52 B	0,30-0,75	Bw	Areia Argilosa	Argilosa	SC	A - 4
P60	P60 B2	0,80-2,00	Bw2	Areia Argilosa	Média Argilosa	CL	A - 4
P65	P65 B	1,20-1,50	Bw2	Areia Argilosa	Média Arenosa	SM	A 2 - 4
P81	P81 B	1,00-2,00	Bw	Areia Argilosa	Argilosa	SC	A - 4
P104	P104	0,90-2,00	Bw2	Areia Argilosa	Média Arenosa	SC	A - 4
P111	P111 Bw	0,00 - 0,50	Bw	Areia Argilosa	Argilosa	CL	A - 4

A geração das unidades geológico-geotécnicas estabelecida nesta etapa intermediária se deu de acordo com as classes de suscetibilidade, cujos critérios estabelecidos e as principais características são apresentadas na **Tabela 26**. As informações de declividade e hipsometria refletem as condições de maturidade dos solos e demonstram a altitude em que se encontram as unidades mais colapsíveis.

As unidades geológico-geotécnicas aqui aplicadas correspondem a três classes de suscetibilidade ao colapso de solo conforme apresentadas na sequência:

- **CLASSE A:** Solos com grau de suscetibilidade ao colapso entre 10 e 14 (susceptível a altamente susceptível) e que de acordo com os resultados dos ensaios edométricos apresentam índices de colapsividade entre 18 e 22% (severos). Apresentam declividade de até 8% localizados entre as cotas 575 e 620m aproximadamente e superiores a 640m. Correspondem pedologicamente aos latossolos vermelho amarelos e esporadicamente argissolos vermelho amarelos originados de coberturas correlatas a Formação Rio Claro que apresentam textura média argilosa e esporadicamente argilosa.
- **CLASSE B:** Solos com grau de suscetibilidade ao colapso entre 9 e 12 (susceptível). Apresentam declividade de até 8% localizados abaixo da cota 575 e entre 620 e 640m aproximadamente. Correspondem pedologicamente aos latossolos vermelhos e esporadicamente nitossolos vermelhos de textura argilosa a muito argilosa originados além de coberturas argilosas correlatas a Formação Rio Claro, também os originados litologicamente das formações Irati, Corumbataí e Serra Geral.
- **CLASSE C:** Solos com grau de suscetibilidade ao colapso entre 2 e 8 (muito pouco susceptível a pouco susceptível). Apresentam declividade superior a 8%. Correspondem pedologicamente aos argissolos diversos e solos pouco desenvolvidos como cambissolos, neossolos litólicos e neossolos regolíticos de textura argilosa a muito argilosa originados litologicamente das formações Irati, Corumbataí e Serra Geral.

A Carta Geotécnica da zona alvo escolhida para o prosseguimento do detalhamento progressivo foi elaborada em escala 1:25.000 e é apresentada no **APÊNDICE I.**

**Tabela 26. Critérios estabelecidos para a geração das unidades geológico-geotécnicas e que correspondem as classes de suscetibilidade ao colapso de solos da Etapa Intermediária**

Classe de suscetibilidade ao colapso do solo	Grau de suscetibilidade (determinado a partir de ensaios de caracterização e compactação)	Classe de declividade	Classe hipsométrica	Associação pedológica/Simbologia	Litologia/ Unidades litológicas	Grau de suscetibilidade (baseado em ensaios edométricos)	Classificações Geotécnicas			
							Granulométrica	textural	Unificada	Rodoviária
A	10 a 14 (Suscetível a Altamente Suscetível)	0 a 8 %	575 a 620;  >640	Latosolo Vermelho-Amarelo (LVA)  Argissolo vermelho-amarelo (PVA)	Coberturas cenozóicas (FM Rio Claro)	Severo	Areia argilosa e areia arenosa	Média Argilosa e argilosa	CL SM SC	A 2-4  A 4  A 6
B	09 a 12 (Suscetível)	0 a 8 %	<575;  620 a 640	Latosolo Vermelho (LV)  Nitossolo Vermelho (NV)	Siltitos, Argilitos, Folhelhos (FM Irati e FM Corumbataí);Dia bácio (FM Serra Geral);Coberturas Cenozóicas (FM Rio Claro)	-	Argila Siltosa; Argila arenosa; Silte argiloso e areia muito argilosa	Argilosa e muito argilosa	CL ML	A 6  A 4
C	02 a 08 (Muito pouco suscetível a pouco suscetível)	> 8%	Geral	Argissolos diversos (PV);  Cambissolos (CX);  Nitossolos litólicos (RL) ; e outros		-		Idem B	CL ML MH CH	A 7-6  A 7-5  A 6

### 6.3. Resultados Obtidos na Etapa de Detalhe

A descrição pedológica do perfil do solo da trincheira aberta no local escolhido para esta derradeira etapa do detalhamento progressivo é apresentada a seguir obedecendo a seguinte ordem: tipo de horizonte, profundidade, cor úmida (carta de cores de Munsell), textura granulométrica de acordo com o teor estimado de argila, estrutura (grau, tamanho e forma), consistência (seca, úmida e molhada) e transição:

- Ap 0-10 cm- (5YR 4/4); franco arenoso (~ 18%); fraca pequena granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.
- AB 10-40 cm- (5YR 4/4); franco arenoso (~ 21%); fraca médio blocos subangulares que se desfazem em fraco pequenos blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.
- BA 40-75 cm- (5YR 4/6); franco arenoso (~ 23%); fraca médio blocos subangulares que se desfazem em granular muito pequena; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.
- Bw1 75-345 cm- (5YR 4/6); franco arenoso (~ 25%); fraca médio blocos subangulares que se desfazem em fraco pequenos blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.
- Bw2 345-500 cm- (2,5YR 4/6); franco arenoso (~ 32%); fraca médio a grandes blocos subangulares que se desfazem em granular pequena; ligeiramente dura, friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.
- Bw3 500-650 cm- (2,5YR 4/6); argiloso (~ 38%); moderado médio blocos subangulares que se desfazem em fraco granular; ligeiramente dura, friável, não plástica a ligeiramente plástica, não pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw4 650- 780 cm- (2,5YR 4/6); argiloso (~ 45%); moderado médio a grandes blocos subangulares que se desfazem em fraco pequenos blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

- Bw5 650- 780 cm- (2,5YR 4/6); argiloso (~ 50%); moderado médio a grandes blocos subangulares que se desfazem em fraco pequenos blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bw6 780-920+ cm – (2,5YR 3/6, úmida); argiloso (~50%); moderado médio a grande; blocos subangulares que se desfazem em fraco pequenos blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Observações: linhas de carvão entre 40 e 60 cm e entre 100 e 180 cm; presença de fragmentos esbranquiçados na base da escavação; muita presença de raízes finas fasciculadas nos primeiros horizontes (A; AB;e BA) e pequena presença que vai se tornando raras até o horizonte Bw1.

Em relação a tradagem, tecnicamente e até mesmo por questões de segurança, a tradagem foi interrompida sem, contudo, encontrar o contato com a formação subjacente. Entretanto alguns sinais de alteração do arenito começaram a surgir nos metros finais, indicando assim uma provável mudança geológica se aproximando. Além disto, algumas observações puderam ser realizadas:

- O teor de argila vai aumentando em profundidade;
- Ocorrência de fragmentos silicosos entre 950 e 1000 cm.
- Na profundidade de 1070 cm a coloração fica mais clara e surgem pontuações pretas.
- Entre 1310 e 1500 cm de profundidade ocorrem nódulos avermelhados (provavelmente plintita).

Os resultados obtidos de análise granulométrica de amostras deformadas coletadas ao longo da escavação e dos furos de sondagem são apresentados na Tabela 27.

**Tabela 27. Análises granulométricas das amostras coletadas na trincheira e na tradagem– Etapa de detalhe.**

Profundidade	Argila (%)	Silte (%)	Areia Total (%)	Distribuição das Areias				
				AMG	AG	AM	AF	AMF
0-10 cm	12,5	6,7	80,8	0,8	2,5	17,4	50,2	9,9
10-20 cm	12,5	8,0	79,5	0,7	2,2	16,9	48,9	10,9
20-30 cm	20,1	7,8	72,1	0,3	2,1	17,4	47,9	4,4
30-40 cm	19,9	7,5	72,6	0,4	1,7	14,9	43,3	12,3

Profundidade	Argila (%)	Silte (%)	Areia Total (%)	Distribuição das Areias				
				AMG	AG	AM	AF	AMF
40-50 cm	22,6	4,3	73,1	0,5	1,7	14,9	41,9	14,2
50-60 cm	22,5	5,7	71,8	0,7	1,9	15,0	42,4	11,9
60-70 cm	17,6	1,7	80,7	0,5	2,0	14,9	43,2	20,0
70-80 cm	22,4	4,3	73,3	0,3	1,8	15,0	42,9	13,2
80-90 cm	22,3	1,7	76,0	0,6	1,9	14,5	43,4	15,6
90-100 cm	20,1	2,1	77,8	0,5	2,1	14,9	43,2	17,2
100-110 cm	20,1	1,8	78,0	0,4	1,9	14,9	43,7	17,1
110-120 cm	20,0	2,9	77,1	0,7	1,8	14,6	43,5	16,5
120-130 cm	22,6	2,2	75,2	0,8	2,0	14,3	42,8	15,5
130-140 cm	22,5	1,5	76,0	0,4	1,6	14,6	43,7	15,6
140-150 cm	22,6	1,5	75,9	0,3	1,6	13,9	43,6	16,4
150-160 cm	20,1	2,9	77,0	0,9	1,7	13,8	43,1	17,6
160-170 cm	20,1	2,6	77,3	1,0	1,7	14,2	43,7	16,8
170-180 cm	18,8	2,0	79,2	0,5	1,7	13,5	43,7	19,8
180-190 cm	18,9	1,0	80,1	0,6	1,6	14,1	43,8	20,0
190-200 cm	19,9	4,6	75,5	0,5	1,6	13,4	43,7	16,3
200-210 cm	19,9	3,4	76,7	0,8	1,7	13,4	43,6	17,2
210-220 cm	19,9	2,1	78,0	0,7	1,7	13,5	43,9	18,2
220-230 cm	19,9	3,1	77,1	0,5	1,6	13,4	43,5	18,0
230-240 cm	20,1	2,5	77,4	0,8	1,6	13,1	43,1	18,7
240-250 cm	20,1	2,4	77,4	0,7	1,9	13,7	43,8	17,4
250-260 cm	20,0	2,4	77,6	0,7	1,5	13,6	43,6	18,2
260-270 cm	20,0	2,7	77,3	0,6	1,6	13,9	43,5	17,7
270-280 cm	20,0	5,9	74,1	0,5	1,6	13,3	42,7	16,0
280-290 cm	20,1	3,1	76,8	0,4	1,6	13,1	42,4	19,4
290-300 cm	22,6	2,0	75,5	0,5	1,6	13,5	41,5	18,4
300-310 cm	22,4	3,2	74,4	0,3	1,7	12,5	39,8	20,2
310-320 cm	22,6	2,0	75,4	0,6	1,8	12,9	40,0	20,2
320-330 cm	22,3	2,9	74,8	0,5	1,7	12,6	39,8	20,1
330-340 cm	22,6	3,3	74,1	0,4	1,7	12,6	39,9	19,5
340-350 cm	25,1	1,2	73,7	0,4	1,7	13,0	39,8	18,9
350-360 cm	27,4	1,4	71,3	0,4	1,8	12,7	39,9	16,5
360-370 cm	27,4	3,6	69,0	0,7	1,7	12,7	39,1	14,8
370-380 cm	22,7	7,1	70,3	0,4	1,6	13,1	38,9	16,2
380-390 cm	27,6	3,1	69,3	0,3	2,0	12,8	40,7	13,4
390-400 cm	25,2	3,1	71,7	0,5	1,8	12,8	42,0	14,6
400-410 cm	27,4	2,5	70,0	1,5	11,6	26,1	26,1	4,9
410-420 cm	24,9	2,4	72,7	0,1	1,4	10,5	40,9	19,7
420-430 cm	27,6	0,8	71,6	0,6	1,6	11,6	39,4	18,5
430-440 cm	24,8	3,3	71,8	0,3	1,4	10,4	38,9	20,7
440-450 cm	27,5	1,1	71,4	0,3	1,7	10,9	41,3	17,2
450-460 cm	24,9	3,1	72,0	0,2	1,4	10,7	40,8	18,9

Profundidade	Argila (%)	Silte (%)	Areia Total (%)	Distribuição das Areias				
				AMG	AG	AM	AF	AMF
460-470 cm	27,3	2,7	70,0	0,2	1,5	11,9	40,7	15,7
470-480 cm	25,0	4,7	70,3	0,2	1,4	10,3	40,4	18,0
480-490 cm	27,4	1,2	71,4	0,2	1,4	10,7	41,9	17,2
490-500 cm	25,0	6,2	68,8	0,3	1,6	10,9	41,9	14,1
500-510 cm	24,9	8,7	66,4	0,3	1,3	11,7	41,0	12,0
510-520 cm	24,9	23,1	52,0	0,2	1,6	11,3	37,3	1,6
520-530 cm	27,5	20,4	52,1	0,4	1,4	11,0	38,1	1,1
540-550 cm	24,9	21,0	54,1	4,4	1,4	11,7	35,6	1,0
550-560 cm	27,7	16,4	55,9	0,4	1,5	11,7	40,2	2,2
560-570 cm	27,5	18,7	53,8	0,6	1,5	11,8	37,4	2,5
570-580 cm	27,5	18,9	53,6	0,4	1,4	11,8	35,0	5,0
580-590 cm	25,1	20,4	54,5	0,5	1,6	12,2	36,7	3,4
590-600 cm	24,9	21,2	53,9	0,5	1,5	12,0	35,0	5,0
610-620 cm	27,2	19,0	53,8	0,3	1,4	12,1	35,0	5,0
620-630 cm	25,0	21,8	53,2	0,5	1,4	11,7	34,9	4,7
630-640 cm	24,8	21,4	53,8	0,3	1,4	12,0	35,1	5,0
640-650 cm	24,9	21,2	53,9	0,3	1,4	12,4	34,8	5,0
650-660 cm	24,9	9,6	65,5	0,3	1,5	12,0	44,3	7,4
660-670 cm	25,0	21,8	53,2	0,4	1,4	11,9	34,5	5,0
670-680 cm	29,8	16,6	53,6	0,7	1,4	12,1	34,4	5,0
680-690 cm	27,3	18,8	53,9	0,5	1,3	12,1	34,9	5,0
690-700 cm	27,4	19,4	53,2	0,6	1,5	11,6	34,5	5,0
700-710 cm	30,2	16,1	53,8	0,5	1,3	12,0	34,8	5,1
710-720 cm	30,1	15,4	54,5	0,3	1,5	12,7	35,1	5,0
720-730 cm	25,0	20,7	54,2	0,4	1,4	12,6	34,9	5,0
730-740 cm	29,8	16,4	53,9	0,4	1,5	12,5	32,0	7,4
740-750 cm	27,5	18,9	53,7	1,0	1,6	12,2	31,4	7,5
750-760 cm	30,1	16,9	53,0	0,5	1,5	12,1	33,6	5,4
<b>760-770 cm</b>	<b>30,1</b>	<b>16,7</b>	<b>53,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,3</b>	<b>12,0</b>	<b>34,5</b>	<b>5,0</b>
770-780 cm	30,1	16,9	53,1	0,5	1,6	12,3	33,6	5,0
780-790 cm	29,8	17,0	53,2	0,6	1,5	12,0	32,9	6,3
790-800 cm	29,9	17,2	52,8	0,4	1,4	12,5	32,8	5,7
800-810 cm	30,0	16,6	53,4	0,4	1,5	12,3	33,5	5,8
810-820 cm	29,9	16,7	53,4	0,6	1,3	12,4	34,1	5,0
820-830 cm	27,4	18,1	54,5	1,1	1,4	11,5	34,8	5,6
830-840 cm	27,2	18,7	54,1	0,8	1,5	11,5	35,0	5,3
840-850 cm	29,8	16,4	53,7	0,4	1,4	11,7	35,2	5,0
850-860 cm	27,5	18,5	54,0	0,7	1,4	11,3	34,7	5,9
860-870 cm	29,9	14,7	55,4	1,3	1,5	11,9	34,3	6,4
870-880 cm	30,0	13,8	56,2	1,0	1,5	11,9	34,6	7,2

Os resultados obtidos nos ensaios edométricos das amostras indeformadas coletadas na trincheira para confirmação do fenômeno da colapsividade nesta terceira etapa do detalhamento progressivo são apresentados no **APÊNDICE H**.

Em alguns níveis da trincheira aberta não foram observados altos índices de colapsividade conforme discutidos anteriormente. Algumas amostras submetidas aos ensaios edométricos apresentaram, presumivelmente, colapsividade antes da saturação com estágio de carga igual a 200 kPa. Segundo Soto (2007), existem deformações causadas por acréscimo de umidade sem, contudo, atingir a saturação completa e assim podem ocorrer deformações diferenciais, afundamento de estruturas etc., cujas análises não deveriam ser negligenciadas pelos profissionais da área. Esta citação explica pelo menos em parte o ocorrido com estas amostras. Segundo Mourinha (2010), apud Marinha et al. (2012), uma estrutura construída sobre um solo seco pode dar origem a assentamentos se o solo for posteriormente saturado. No entanto, se o grau de adensamento do solo for suficientemente elevado, a saturação não dá origem a recalques por colapso, mas sim a um ligeiro empolamento devido à descarga elástica do solo por efeito da redução da tensão efetiva. O elevado grau de sobre adensamento faz com que a superfície de cedência do solo saturado apresente uma extensão suficiente para acomodar as trajetórias de tensão na zona saturada. Assim, alguns resultados, observando os gráficos apresentados no referido apêndice, surpreenderam e contrariaram as expectativas, pois apresentaram baixos índices de colapsividade (IC) de acordo com a norma técnica adotada (D5353-ASTM,2003) que adota a tensão de 200 kPa pré e pós saturação total da amostra. Desta forma, cabe aqui algumas considerações sobre amostras ensaiadas em determinadas profundidades:

- 0,0 a 1,0m: com  $IC=0,76$ , duas situações podem ter ocorrido, em uma primeira situação talvez tenha ocorrido um adensamento pré-saturação ou em uma segunda situação, houve um provável equívoco de ter ocorrido a saturação antes de executar o estágio de 200 kPa somente com a umidade natural e isto pode ter comprometido a determinação do IC. De qualquer forma, observou-se uma redução de aproximadamente 64 % do índice de vazios inicial após a aplicação da tensão de 200 kPa e isto permite avaliar que houve colapso;
- 3,0 a 4,0m: com IC nulo, da mesma forma anterior, pode ter ocorrido adensamento pré-saturação ou por equívoco, não tenha sido saturado. Neste caso houve uma redução de aproximadamente 24 % do índice de vazios. Assim, pode se afirmar um colapso do solo;

- 8,00 a 9,00m: com IC=0,76, deve ter ocorrido adensamento pré-saturação já que houve também aqui uma redução de aproximadamente 16% o que também expressa o comportamento colapsível; e
- Demais profundidades, dentro das expectativas.

A **Tabela 28** apresenta as correlações entre os índices de colapsividade analisados nos ensaios edométricos em várias profundidades da trincheira aberta e os índices de resistência a penetração do solo (N-SPT) obtidos na execução do furo de sondagem a percussão ao lado dela. O perfil do furo de sondagem a percussão executado é apresentado na **Figura 50**. Tendo-se em conta os resultados obtidos, as considerações acima e corroboração com os baixos valores de N-SPT obtidos na sondagem a percussão, conclui-se que o fenômeno da colapsividade tenha sido mais expressiva até a profundidade de 5,0 metros, não obstante o fenômeno tenha ocorrido até a profundidade aproximada de 09 metros.

**Tabela 28. Correlação entre os valores de resistência a penetração do solo N-SPT e os índices de colapsividade IC**

Prof. (m)	N-SPT	IC	Grau de Colapsividade (D-5333/ASTM 2003)	Índices de Vazios: Pré-ensaio	Redução do índice de vazios (%): 200 kPa	Redução do índice de Vazios (%): Pós-saturação	Observações
0,00	-	0,76	Leve	0,88	63,64	64,72	Adensamento pré-saturação ou provável saturação antes de iniciar o estágio de 200 kPa
1,00	2/45	19,89	Severo	0,89	8,99	49,44	
2,00	2/45	4,17	Moderado	0,79	7,73	16,86	
3,00	1/30	0,00	Nulo	0,59	23,73	23,73	Adensamento pré-saturação ou provavelmente não foi saturado
4,00	2	7,81	Moderadamente Severo	0,64	56,25	71,88	
5,00	2	14,20	Severo	0,82	7,32	37,80	
6,00	4	8,11	Moderadamente Severo	0,61	13,00	40,98	
7,00	7	6,58	Moderadamente Severo	0,59	11,86	28,81	
8,00	6	0,66	Leve	0,61	14,51	16,39	Adensamento pré-saturação
9,00	7	-	-				
10,00	10	-	-				

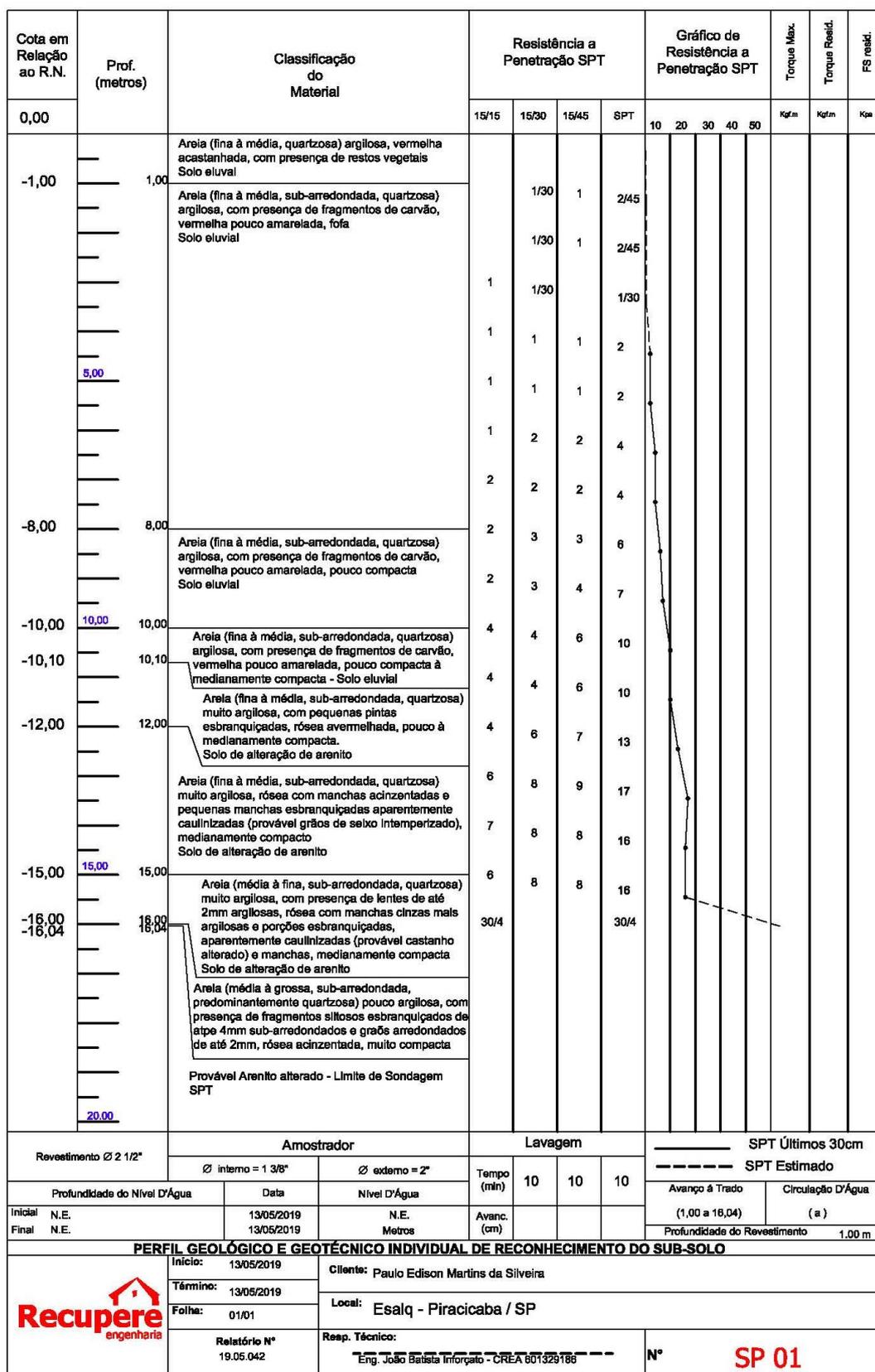


Figura 50. Perfil de sondagem a percussão executada em local escolhido para a etapa de detalhe.

Baseando-se nas descrições e observações obtidas da trincheira aberta no local escolhido (fundos da ESALQ na divisa com o Aeroporto Pedro Morganti, que corresponde ao ponto de mapeamento P-65) para o desenvolvimento da terceira e última etapa do detalhamento progressivo (etapa de detalhe) e na corroboração dos dados de uma sondagem geotécnica realizada ao lado (**Figura 35**), verificou-se que a profundidade da cobertura cenozóica contemplada no local e que corresponde aos sedimentos da cobertura correlata à Formação Rio Claro, pedologicamente denominada de Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, deve girar mesmo em torno dos 20 metros. Foi possível observar em um afloramento próximo deste local, mais precisamente no km 159 da Rodovia Luís de Queiróz, o contato desta cobertura com formações subjacentes. A base desta cobertura cenozóica correlata à Formação Rio Claro apresenta uma linha de pequenos seixos silicosos, provavelmente originado das rochas da Formação Irati. Apresenta ainda feições de estrutura cruzada e coloração esbranquiçada, percebendo-se poucas evidências pedogenéticas em maiores profundidades.

Em função dos resultados obtidos nos ensaios edométricos preconizados pela norma técnica D 5333 (ASTM, 2003), considera-se como suscetível ao fenômeno da colapsividade o solo investigado no local escolhido para a realização da terceira e última etapa do detalhamento progressivo, pelo menos até a profundidade de 8,00m da trincheira aberta. Pode-se afirmar, pelos resultados edométricos obtidos, que nas profundidades com maiores valores de índice de vazios, o fenômeno da colapsividade de solos se manifestou de forma mais intensa.

Pelo menos até a profundidade de 09 metros do furo de sondagem, os valores de N-SPT determinados são muito baixos que definem compacidade do solo como sendo de fofa a pouco compacta.

Em função dos resultados obtidos nos ensaios de SPT realizados no furo de sondagem ao lado da trincheira, pode-se afirmar que, pelo menos neste caso, tais resultados corroboram com os resultados edométricos obtidos.

#### **6.4. Discussão da Metodologia e Sugestões**

A escolha da metodologia do detalhamento progressivo empregado neste trabalho se mostrou viável, todavia, alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração:

- Algumas incongruências observadas nos mapas geológicos geraram conflitos de interpretação que exigiram observações de campo além de fotointerpretação para elaborar uma compartimentação preliminar mais adequada. Possivelmente em regiões geologicamente mais homogêneas, este fato não seja relevante. A área de estudo é apenas contemplada com mapas geológicos na escala 1:100.000 ou menores e embora existam documentações cartográficas geológicas em escalas maiores que esta, apenas são pontuais. Talvez seja oportuno sugerir a elaboração de um mapa geológico atualizado em escala 1:50.000 da folha topográfica de Piracicaba SF-23-M-III-2 na escala 1:50.000 (IBGE,1969);
- Como já discutido anteriormente no item 6.1., entre os vários critérios adotados para a constatação do fenômeno da colapsividade de solos, alguns deles não atenderam às expectativas. Assim, sugere-se que para os próximos trabalhos relacionados ao assunto, estes critérios sejam descartados e sejam substituídos por outros que devem ser futuramente apresentados na literatura;
- Outro entrave constatado no desenvolvimento deste estudo refere-se a dificuldade de obter cartas topográficas digitalizadas que permitam a confecção de mapas de declividade compatíveis com escala maior que 1:25.000, principalmente para grandes áreas e com heterogeneidade geomorfológica como a área de estudo;
- Este estudo evidenciou durante os serviços de campo, que por vezes não são comuns afloramentos naturais na área de estudo, por se tratar de um local, pelo menos em sua maior parte, com alta densidade demográfica e áreas ocupadas por grandes unidades fabris e de comércio. Desta forma, considera-se que a metodologia proposta pelo detalhamento progressivo supriu estas dificuldades;

Como sugestões e recomendações deste trabalho, apresentam-se:

- Tendo em vista que a metodologia adotada para o desenvolvimento desta pesquisa abarcou a execução de ensaios laboratoriais para caracterização de solos ainda na etapa geral do detalhamento progressivo, sugere-se que, para áreas muito grandes como a área urbana de Piracicaba, devido aos

extenuantes serviços de campo e de ensaios geotécnicos, a metodologia utilizada neste trabalho talvez fosse melhor desenvolvida se as referidas áreas fossem divididas em setores, desde que a metodologia siga os mesmos moldes desta apresentada.

- Sugere-se aqui, que em posteriores trabalhos pertinentes a solos colapsíveis, sejam realizados novos ensaios tecnológicos para confirmação da suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade, tais como os ensaios de placa ou com utilização de expanso-colapsômetro. Além disto, sugere-se também que os ensaios edométricos sejam mais pormenorizados com ensaios realizados em várias situações de carga e umidade;
- Cabe aqui uma ressalva a respeito dos cuidados requeridos pelos profissionais da área civil em empreendimentos desenvolvidos em terrenos que contemplam solos suscetíveis ao fenômeno da colapsividade. Em terrenos planos onde se apoiam fundações, estando o solo confinado, ocorrem deformações verticais acentuadas. Cuidados especiais devem ser tomados especialmente em se tratando de instalações antigas de rede de água, rede de esgoto, galerias de águas pluviais e ambientes úmidos residenciais. Da mesma forma, cuidados devem ser tomados para a escolha do tipo de fundação e devem ser evitados riscos de vazamento de água e esgoto principalmente em locais junção, como curvas e conexões. Também se deve levar em consideração o fato que, concatenadamente ao fenômeno da colapsividade, podem ocorrer lixiviações de sedimentos mais finos desenvolvendo o processo de piping, principalmente por ação de efluentes como esgoto. Além disto, não devem ser negligenciados os cuidados relativos em obras de corte de taludes, pois ocorrendo a saturação destes solos em períodos chuvosos, a manifestação de escorregamentos poderá surgir, principalmente quando estas coberturas colapsíveis estão assentadas sobre solos mais impermeáveis, como é o caso da área de estudo; e
- De acordo com a metodologia proposta de detalhamento progressivo utilizada neste trabalho, foi apontado apenas uma zona alvo que contemplou unidades geológico-geotécnicas que apresentam solos com maiores potenciais para o desenvolvimento do fenômeno do colapso de solos. Entretanto, foi verificado que em outras unidades geológico-geotécnicas

representadas por solos lateríticos, que apesar de apresentarem grau de suscetibilidade à colapsividade de solos menores que os da zona alvo, não podem ser negligenciadas as possibilidades de ocorrência do fenômeno. Assim, sugere-se que para áreas urbanas de grande extensão, o estudo utilize setores da área urbana na primeira etapa do detalhamento progressivo (etapa geral) e duas ou mais zonas alvas destes setores na etapa intermediária.

## 7. CONCLUSÕES

A metodologia proposta se apresenta como uma ferramenta importante na elaboração de cartas de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos em áreas urbanas. Além disto, permitiu que dados obtidos em análises laboratoriais, dados de furos de sondagem geotécnica, levantamento de campo e dados cartográficos pudessem ser corroborados para unidades geológico-geotécnicas semelhantes, principalmente na primeira etapa do detalhamento progressivo (etapa geral).

A cartografia geológico-geotécnica baseada no detalhamento progressivo é mais eficiente que os métodos tradicionais para a avaliação e priorização de áreas suscetíveis a ocorrência de solos colapsíveis para o planejamento territorial urbano em função do exposto a seguir:

- A aplicação do método de detalhamento progressivo proposto supriu a deficiência de pontos mapeados, deficiência esta, gerada devido as dificuldades de se encontrar afloramentos em área intensamente povoadas e devido à grande extensão territorial da área estudada;
- A escala utilizada na etapa geral (1:50.000) e a escala utilizada na etapa intermediária (1:25.000) se mostraram compatíveis com os objetivos deste trabalho;
- Quanto aos ensaios geotécnicos selecionados para avaliação da ocorrência de solos colapsíveis que são mais adequados a serem realizados conforme a escala de mapeamento, estes se mostraram compatíveis para a determinação do potencial de suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de acordo com alguns critérios estabelecidos por vários autores. Todavia, apesar de não comprometerem os resultados, alguns critérios não atenderam às expectativas; e
- A integralização das análises dos resultados obtidos nestes ensaios geotécnicos de caracterização, compactação e edométricos com certos aspectos morfométricos como a declividade e hipsometria e com aspectos geológicos e pedológicos permitiram a geração das unidades geológico-geotécnicas com enfoque na suscetibilidade ao fenômeno da colapsividade de solos de maneira satisfatória.

Os resultados apontaram que a metodologia proposta de detalhamento progressivo se mostrou satisfatória para os objetivos almejados abrindo caminho para o desenvolvimento de novos estudos mais detalhados sobre o assunto, diante da complexidade apresentada pelo fenômeno da colapsividade de solos requer, especialmente em áreas com características heterogênicas como a da área de estudo.

Os resultados deste trabalho apontam que o método do detalhamento progressivo pode ser aplicado para estudos de planejamento territorial por parte dos órgãos públicos e para a resolução de problemas de natureza geológico-geotécnica, especialmente aqueles pertinentes ao fenômeno da colapsividade. Pode-se concluir ainda, que a grande vantagem demonstrada por este método é a de otimizar os recursos financeiros disponíveis, os recursos pessoais e tempo.

Diante da hipótese apresentada no trabalho **“Em função da eficácia do método de detalhamento progressivo proposto por Cerri et al (1996) e testado por Zaine (2000), para efeito de mapeamento de áreas de suscetibilidade ao fenômeno de colapsividade”**, este demonstrou ser o mais indicado para as pretensões deste trabalho. Desta forma, pode-se concluir que a hipótese proposta para este trabalho se torna verdadeira.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNELLI, N.; ALBIERO, J. H. Efeito da colapsividade no resultado de provas de carga diretas. *In: BRAZILIAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 10., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: ABMS, 1994. v. 1, p. 167-174.

ALI, N. A. Performance of partially replaced collapsible soil - Field study. **Alexandria Engineering Journal**, [s. l.], v. 54, p. 527-532, 2015.

AMARAL, A. M. C.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; CORRÊA, C. V. S.; CHAVES, C. J. Compartimentação fisiográfica pela análise integrada: estudo de caso no município de Casa Branca (SP). **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 15-28, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Method for One- Dimensional Consolidation Properties of Soils**. West Conshohocken: ASTM International, 1996. Designation: D 2435-96.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Practice for classification of soils and soil-aggregate Mixtures for highway construction purposes**. West Conshohocken: ASTM International, 2004. Designation: D 3282-2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of soils**. West Conshohocken: ASTM International, 2003. Designation: D 5353- 2003.

ANDRADE, R. F. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2005.

ANDREI, S.; ATHANASIU, C. Test data systematization and stockage to predict the parameters describing the behaviour of unsaturated soils. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS & FOUNDATION ENGINEERING*, 7., 1979, [s. l.]. **Proceedings** [...], Brighton: ECSMFE, 1979. v .1, p. 91-94.

ARAGÃO, C. J. G.; MELO, A. C. Fundações rasas em solos colapsíveis: um caso no semiárido de Pernambuco. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES*, 7., 1982, [s. l.]. **Anais** [...], Olinda: ABMS, 1982. v. 2, p. 19-40.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Manual de sondagens**. 5. ed. São Paulo: ABGE, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos: terminologia** - NBR 6502. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: análise granulométrica combinada** - NBR 7181. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação da massa específica natural** - NBR 10535. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação da massa específica dos grãos** - NBR 6508. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do limite de liquidez** - NBR 6459. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do limite de plasticidade** - NBR 7180. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: Ensaio de compactação** - NBR 7182. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do índice de suporte Califórnia** - NBR 9895. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440<sup>0</sup> C** - NBR 13600. Rio de Janeiro, 1996

AYADAT, T.; HANNA, A. Identification of collapsible soil using the fall cone apparatus. **Journal of Testing Materials**, [s. l.], v. 30, n. 4, 2007. Article ID: GTJ 14193.

AYADAT, T.; HANNA, A.; ABBECHE, K. Assessment of some factors affecting soil collapse behavior. *In*: CANADIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE, 60.; JOINT CGS/IAH-CNC GROUND WATER CONFERENCE, 8., 2007, Ottawa. **Proceedings** [...], Ottawa: [s. n.], 2007.

AYDAT, T.; HANNA, A.M. Assessment of Soil Collapse Prediction Methods. **IJE Transactions B: applications**, [s. l.], v. 25, n. 1, p.19-26, 2012.

AYELDEEN, M.; NEGM, A.; EL-SAWWAF, M.; KITAZUME, M. Enhancing the behavior of collapsible soil using biopolymers. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 329-339, 2017.

BARDEN, L.; MCGOWN, A.; COLLINS, K. The collapse mechanism in partly saturated soil. **Engineering Geology**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 49-60, 1973.

BARRETO, A. G. O. P.; SPAROVIK, G.; GIANNOTTI, M. **Atlas rural de Piracicaba**. Piracicaba: IPEF, 2006.

BASMA, A. A.; TUNCER, E. R. Evaluation and Control of Collapsible Soils. **Journal of Geotechnical Engineering**, [s. l.], v. 118, n. 10, p. 1491-1504, 1992.

BENATTI, J. C. B. **Colapsividade com sucção controlada de um solo coluvionar e laterítico de Campinas/SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

BITAR, O. Y. (coord.)- Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE-DIGEO. São Paulo, 1995

BÓRIO, N. **Geologia da área de São Pedro (SP)**. 1973. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.

BRINK, G.; ROOY, J. L. V. The influence of the geological origin on soil volume change through collapse settlement. **Journal of African Earth Sciences**, Amsterdam, v. 101, p. 113-118, 2015.

BRIZOLARI, G. H. S.; FLORIAN, F.; MORONI, J. E. Solos colapsíveis: estudos de três casos por meio de sondagem a percussão no município de Araraquara-SP. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, n. 144, p. 1-18, 2018.

CASTILLO, D. Y. A. **Uso da técnica de Radier estaqueado para pequenos edifícios assentes sobre solo colapsível**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABGE, 1996. v. 2, p. 537-548.

CHAVES, C. J.; REIS, F. A. G. V.; AMARAL, A. M. C.; GIORDANO, L. C.; CORRÊA, C. V. S. Aplicação da compartimentação fisiográfica e da abordagem multitemática para elaboração de mapa geoambiental: estudo de caso nos municípios de Espírito Santo do Pinhal e Santo Antônio do Jardim-SP. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 3-24, 2015.

CHRIST, C. E. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CLEMENCE, S. P.; FINBARR, A.O. Design considerations for collapsible soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 305-317, 1981.

COMGÁS. Relatório ambiental preliminar do sistema de distribuição de gás natural: trecho Limeira Piracicaba. São Paulo: COMGÁS, 1998.

DECOURT, L. & QUARESMA, A.R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS, Rio de Janeiro, 1978.

DENISOV, N. J. **The engineering properties of loess and loess loams**. Moscow: Gosstroirzdat, 1951.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PORTOS E VIAS NAVEGÁVEIS (Brasil). **Estudos geológicos-geotécnicos preliminares do canal hidroviário do Rio Piracicaba**: trecho Piracicaba - barragem de Santa Maria da Serra. São Paulo: IPT, 2001. Relatório nº 7.597.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (BRASIL). **Projeto borda leste da Bacia do Paraná**: integração geológica e avaliação econômica: Brasília: CPRM, 1984.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 1. p. 29-77, 2012.

DONADON, E. F. **Comportamento de estacas “MEGA” de concreto, implantadas em solo colapsível**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

DUDLEY, J. H. Review of collapsing soils. **Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division**, [s. l.], v. 96, n. SM3, p. 925-947, 1970.

EL MAY, M.; DLALA, M.; CHENINI, J. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 116, p. 129-138, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. Brasília: Embrapa, 2017.

ERCOLI, L.; ZIMBARDO, M.; NOCILLA, N.; NOCILLA, A.; PONZONI, E. Evaluation of cliff recession in the Valle dei Templi in Agrigento (Sicília). **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 192, p.129-138, 2015.

FERREIRA, S.R.M. (1995). “Colapso e Expansão de Solos Naturais Não Saturados Devido à Inundação”. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Março, 379 p.

FERREIRA, R. C.; MONTEIRO L. B.; PERES, J. E. E.; BENVENUTO, C. Some aspects on the behaviour of Brazilian collapsible soils. *In*. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 12., 1989, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [s. n.], 1989. p. 117-120.

FERREIRA, S. R. M.; LACERDA, W. A. Variações de volume em solo colapsível: medidas através de ensaios de laboratório e de campo. **Revista Solos e Rochas**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 245-253, 1993.

FRANCO, G. B.; CALIJURI, M. L.; GOMES, R. L. Cartografia geotécnica: estágio atual do conhecimento. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 158-172, 2010.

FREITAS, M. C. **Avaliação de técnica de melhorias de Solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO. **Estudos geológicos e geotécnicos na área urbana do município de Piracicaba (SP): zoneamento geológico-geotécnico - escala 1:25.000**. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2013.

GAAVER, K. E. Geotechnical properties of Egyptian collapsible soils. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, Egypt, v. 51, p. 205-210, 2012.

GARAKANI, A. A.; HAERI, S. M.; KHOSRAVI, A.; HABIBAGAH, G. Hydro-mechanical behavior of undisturbed collapsible loessial soils under different stress state conditions. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 195, p. 28-41, 2015.

GIBBS, H. J.; BARA, J. P. Stability problems of collapsing soils. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, [s. l.], v. 93, n. 4, p. 577-594, 1967.

GIBOTTI JÚNIOR, M. **Subsídios geológico-geotécnicos para a implantação de tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis: estudo de caso em um solo da Formação Rio Claro**. Dissertação. IGCE, UNESP. Rio Claro, 1999. 94 p.

HOWAYEC, A. E.; HUANG, P. I.; BISNETT, R.; SANTAGATA, M. C. Identification and Behavior of Collapsible Soils. In: SANTAGATA, M. C. **Joint Transportation Research Program**. West Lafayette, Indiana: Purdue University, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Anais.... **Censo demográfico brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução nº 4, de 28 de agosto de 2017. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, v. 167, p. 58, 30 ago. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS E PLANEJAMENTO DE PIRACICABA. **Planta do município**: abairramento e loteamento. Piracicaba: IPPLAP, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 mapa. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 mapa. Escala 1:500.000.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. Commission on Engineering Geological Maps. **Engineering Geological Maps**: a guide to their preparation. Paris: The Unesco Press, 1976. (Earth sciences, 15).

IRANPOUR, B.; HADDAD, A. The Influence of nanomaterials on collapsible soil treatment. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 205, p. 40-53, 2016.

JENNINGS, J. E.; KNIGHT, K. A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure. In: REGIONAL CONFERENCE FOR AFRICA ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6., 1975, Durban. **Proceedings** [...]. Durban: [s. n.], 1975. p. 99-105.

JENNINGS, J. E.; KNIGHT, K. The additional settlement of foundations due to collapse of structure of sandy sub soils on wetting. In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4., 1957, London. **Proceedings** [...]. London: [s. n.], 1957. v. 1, p. 316-319.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. Campinas: SBCS, 1996.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOLLO, J. A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 1 CD-ROM.

LOLLO, J. A. (org.). **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008.

LOLLO, J. A. Revisão dos Métodos de Cartografia Geotécnica de Materiais Geológicos Colapsíveis. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 99-115, 2012.

LOMMLER, J. C.; BANDINI, P. Characterization of collapsible soils. *In*: INTERNATIONAL FOUNDATIONS CONGRESS & EQUIPMENT EXPOSITION, 2015, Saint Antonio. **Proceedings** [...]. Saint Antonio: ASCE, 2015. p.1834-1841.

LOURO, C. F.; SOARES, F. T.; RIBEIRO, K. F. A.; RIBEIRO JUNIOR, I. Utilização de expanso-colapsômetro na determinação do colapso no solo de Rondonópolis-MT. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: ABMS, 2016.

MARGOTO, L. O.; APARECIDO JUNIOR, L. G. Caracterização e análise de solos colapsíveis na área urbana do município de Campos Gerais. *In*: JORNADA CIENTÍFICA DA GEOGRAFIA, 4., 2016, Alfenas. **Anais** [...]. Alfenas: UNIFAL, 2016. p. 192-195.

MARINHA, j. R.; VIEIRA, A.; MOURINHA, A. Algoritmo para modelação do colapso em solos não saturados. **Revista Luso-Brasileira de Geotecnia**, Lisboa, n. 126, p.3-24, 2012.

MENDES, R. M.; LORANDI, R. Analysis of spatial variability of SPT Penetration resistance in collapsible soils considering water table depht. *In*: **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 101, p. 218-235, 2008.

MIGUEL, M. G. *et al.* Comportamento de estacas escavadas com trado manual em solo colapsíveis de Londrina/PR. *In: ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE*, 1., 2003, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: UEM, 2003. p. 315-331.

MIGUEL, M. G.; SILVA, D. F.; CAMPOS, G. G. G.; ALMEIDA, M. A. A.; BELINCANTA, A. Adaptação de métodos semi-empíricos para estimar capacidade de carga de estacas de pequeno diâmetro no solo de Londrina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 155-165, 2005.

MOMENI, M.; SHAFICE, A.; HEIDARI, M.; JAFARI, M. K.; MAHDAVIFAR, M. R. Evaluation of soil collapse potential in regional scale. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 64, n. 1, p. 459-479, 2012.

NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, L. F.; DINIZ, N. C. Subsídências e colapsos de solo em áreas urbanas. *In: BITAR, O.Y.* (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE-DIGEO, 1995. p. 101-133.

NEVES, M. **Estudo de permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

NOGUEIRA, J. B.; LIMA SOBRINHO, O. O.; GANDOLFI, N. Characteristics of compressibility of soil from cenozoic sediments. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERIC AND SAPROLITICS SOILS*, 1985, Brasília, **Proceedings [...]**. Brasília: [s. n.], 1985. v. 1, p. 471-475.

OLIVEIRA, A. M. S.; MONTICELI, J. J. **Geologia de Engenharia e Ambiental**. São Paulo: ABGE, 2018.

OLIVEIRA, C. M. G. **Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do município de Ilha Solteira-SP**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

OLIVEIRA, J. B. **Solos da folha de Piracicaba**. Campinas: IAC, 1999. (Boletim Científico, 48).

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3ª ed. Piracicaba: FEALQ, 2008.

OLYANSKY, Y. I.; KUZMENKO, I. Y.; SHCHEKOKHIKHINA, E. V. Features of Construction Buildings on the Loessial Soil of Central Moldova. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 150, p. 2208-2212, 2016.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba - SP (escala 1:100.000)**: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de

apresentação de atributos. 1992. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2002.

POPESCU, M. E. A comparision between the behavior of swelling and collapsing soils. **Engineering Geology**, Amsterdan, v. 23, n. 2, p. 145-163, Dec. 1986.

PRICE, G. V. **Methods of engineering geological mapping and their application on a regional scale in South Africa**. 1985. Tese (Doutorado) - , University of Pretória, 1985.

PRIKLONSKIJ, V. A. **Grountovedenie**: vtoraira chast. Moscow: Gogeolizdot, 1952.

REGINATO, A. R.; FERRERO, J. C. Collapse potencial of soils and soils-water chemistry. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 8., 1983, Moscow. **Proceedings** [...]. Moscow: [s. n.], 1983. p. 177-183.

SANTOS, A. R. **Geologia de engenharia, o que é, como trabalha e suas relações com a engenharia geotécnica**. 2002. Disponível em: [www.ambientelegal.com.br](http://www.ambientelegal.com.br). Acesso em: 10 set. 2017.

SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. Plano municipal de gestão de recursos hídricos do município de Piracicaba. Piracicaba: SEMAE, 2011.

SHI, J. F.; FENG, L. D.; ZHEN, M. S.; WEI, H. S.; KE, T. Fild Study on the reinforcement of collapsible loess using dynamic compaction. **Engeneering Geology**, Amsterdan, v. 185, p. 105-115, 2015.

SILVA, M. J. R. **Comportamento geomecânico de solos colapsíveis e expansivos em Petrolina**: cartas de suscetibilidade. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

SOARES, P. C. **O mesozóico gonduânico no Estado de São Paulo. 1973**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973, 1973.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 79-97.

SOTO, M. A. A. Deformaciones volumétricas com y sin colapso de algunos suelos no saturados. **Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, Bogota, v. 31, n. 120, p. 355-362, 2007.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1, p. 141-156, 2015.

SOUZA NETO, J. B. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo e previsão de recalques devidos a inundação (colapso)**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TEIXEIRA, C. Z. **Comportamento de estacas escavadas em solos colapsíveis**. 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz. **Levantamento pedológico do perímetro urbano de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001.

VARGAS, M. (1978). “Introdução à Mecânica dos Solos”. **McGRAW -HILL do Brasil**. São Paulo. Vol.1, p.509.

VERACHTERT, E.; EECKHAUT, M. V. D.; POESEN, J.; DECKERS, J. Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess- derived soils: a case study from central Belgium. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 118, n. 3-4, p. 339-348, 2010.

VILAR, O. M. **Estudo de compressão unidirecional do sedimento moderno (solo superficial) da cidade de São Carlos**. 1979. Dissertação (Mestrado). ) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1979.

VILAR, O. M.; RODRIGUES, J. E.; NOGUEIRA, J. B. Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981, Rio de Janeiro. **Proceedings [...]**. Rio de Janeiro: [s. n.], 1981. p. 209-224.

VILAR, O. M.; RODRIGUES, R. A. Classical Methods to Identify Collapsible Soils. **Soils and Rocks**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 265-278, 2015.

WOLLE, C.M.; BENVENUTO, C.; VICTORIO, F. C.; POLLA, C. M.; SAAD, A. M.; PULEGHINI, P. Estudo preliminar da colapsividade dos solos do projeto Jaíba: In: 2o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais 2o. **CBGE**, São Paulo, 1978, v. 1, p. 179-193.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo**: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro. 2000. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZAINE, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos**: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZUQUETTE, L.V. - 1993. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, SP. 2v. (Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).

## **9. RELAÇÃO DE APÊNDICES**

**APÊNDICE A. Mapa de Localização dos pontos visitados em levantamento de campo e de localização dos furos de sondagem geotécnica executados na área de estudo (etapa geral), escala 1:50.000.**

**APÊNDICE B. Síntese das informações geológico geotécnicas de perfis de sondagem geotécnica na área de estudo (etapa geral)**

**APÊNDICE C. Classificação pedológica e unidades lito-estratigráficas dos pontos mapeados – etapa geral.**

**APÊNDICE D. Resultados dos ensaios de caracterização e estudo de compactação de solo – Etapa Geral**

**APÊNDICE E – Classificações geotécnicas das amostras de solo ensaiadas na etapa geral.**

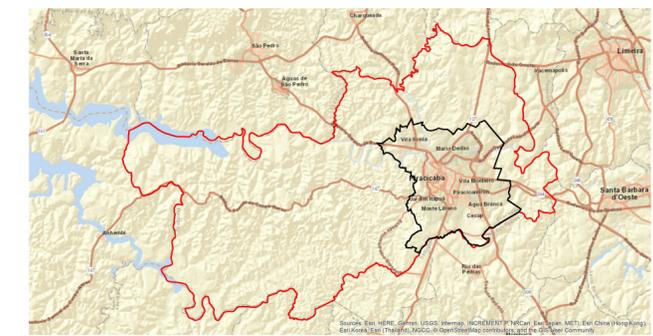
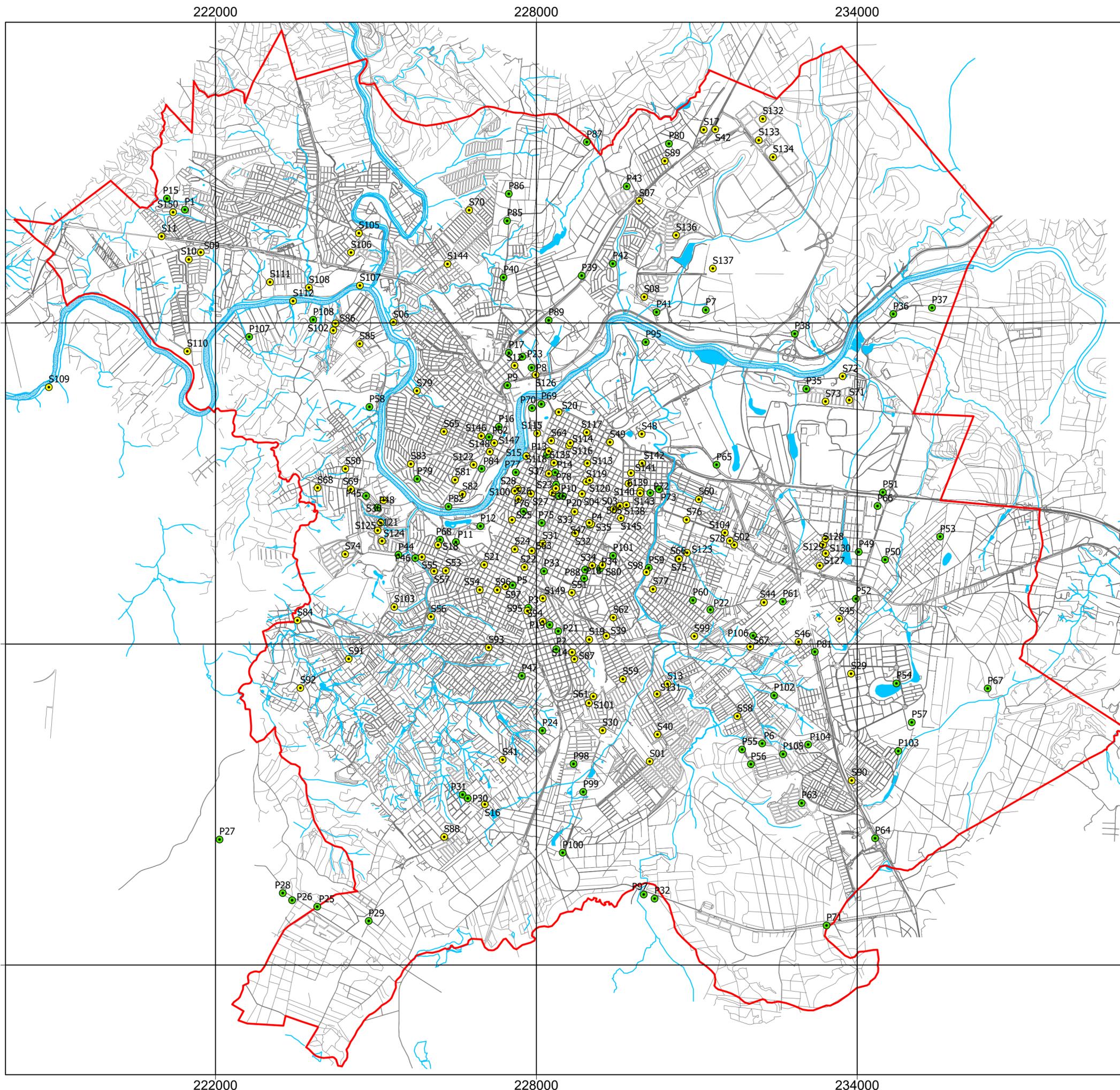
**APÊNDICE F . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da área de estudo (etapa geral), em escala 1:50.000.**

**APÊNDICE G . Mapa de localização dos pontos visitados em levantamento de campo e localização dos furos de sondagem geotécnica na zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.**

**APÊNDICE H . Resultados obtidos nos ensaios edométricos da etapa de detalhe.**

**APÊNDICE I . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.**

**APÊNDICE A. Mapa de Localização dos pontos visitados em levantamento de campo e de localização dos furos de sondagem geotécnica executados na área de estudo (etapa geral), escala 1:50.000.**




**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JULIO DE MESQUITA FILHO"**  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

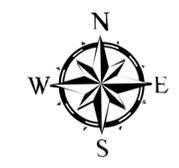
Tese de Doutorado

**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS**  
**GEOTÉCNICAS APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS**  
**URBANAS UTILIZANDO O MÉTODO DE DETALHAMENTO**  
**PROGRESSIVO**

Doutorando: Paulo Edison Martins da Silveira  
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Veira Reis

---

**APÊNDICE A**  
**MAPA DE LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE MAPEAMENTO E DE FUROS DE**  
**SONDAGEM GEOTÉCNICA DA ÁREA URBANA DE PIRACICABA (ETAPA GERAL)**  
 Escala 1:50.000  
 Rio Claro  
 2020



- Legenda**
- Pontos no Campo
  - Pontos de Sondagem
  - Perímetro Urbano
  - Rios Piracicaba e Corumbataí
  - Córregos
  - Ruas

**APÊNDICE B. Síntese das informações geológico geotécnicas de perfis de sondagem geotécnica na área de estudo (etapa geral)**

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
1	Água Branca	Av. Edne Rontani Bassete, sem N <sup>o</sup>	7.479.806	230.119	0,00 - 3,45 = C.M. plástica; m à r; vermelha 3,45 - 6,40 = M.C.; d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 4	
						3 = 15	
						4 = 39	
						5 = 47	
6,40 = 53/25							
2	Água Seca	Rua Hide Maluf, sem N <sup>o</sup>	7.483.852	231.699	0,00 - 13,00 = S.C.; pouco compacta a medianamente compacta; vermelha 13,00 - 20,40 = S.C.; compacta; variegado	1 = 2	18,81
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 3	
						5 = 4	
						6 = 7	
						7 = 9	
						8 = 13	
						9 = 13	
						10 = 19	
						11 = 20	
						12 = 24	
						13 = 25	
						14 = 26	
						15 = 20	
						16 = 21	
						17 = 19	
18 = 28							
19 = 30							
20,40 = 45/25							
3	Alemães	Rua Aquilino Pacheco N <sup>o</sup> 200 x Rua Cristiano Cleopath	7.484.519	229.445	0,00 - 0,50 = S.C.; marrom 0,50 - 5,00 = C.S.; md; vermelha 5,00 - 6,00 = C.S.; r; variegado 6,00 - 9,10 = M.C.; d; variegado	1 = 9	5,30
						2 = 4	
						3 = 6	
						4 = 7	
						5 = 12	
						6 = 25/9	
						7 = 30/10	
						8 = 30/12	
						9,10 = 30/10	
4	Alemães	Rua Cristiano Cleopath N <sup>o</sup> 1449	7.484.806	228.853	0,00 - 0,50 = C.M.; marrom 0,50 - 3,00 = M.C.; d; variegado 3,00 - 4,00 = C.M.; d; variegado 4,00 - 5,20 = M.C.; d; variegado	1 = 27	3,40
						2 = 30	
						3 = 40	
						4 = 37	
						5,20 = 25/5	
5	Alemães	Rua Saldanha Marinho N <sup>o</sup> 2266	7.484.600	229.684	0,00 - 2,00 = C.M.; marrom e variegada; c/ frag. De rocha 2,00 - 5,20 = M.C.; d; variegado	1 = 28	
						2 = 26	
						3 = 50/20	
						4 = 30/8	
						5 = 25/5	
6	Algodoal	R. Milton Cullen Ferguson, sem N <sup>o</sup>	7.488.016	225.326	0,00 - 2,00 = C.M.; plástica; vermelha acastanhada; r. 2,00 - 3,00 = C.M.; plástica; c/sinais de oxidação; variegada (cinza e vermelha); r. 3,00 - 4,45 = Frag. De siltito em meio argiloso; amarelo, d. 4,45 - 5,73 = M.S.; muito pouco plástico; cinza esverdeado c/manchas amarelada de oxidação; muito compacto c/frag. De Diabásio	1 = 15	5,40
						2 = 17	
						3 = 30/7	
						4 = 18	
						5 = 35	
5,73 = 25/3							
7	Alpha Norte	Lote 36, 37 e 38 - Bairro Santa Rosa	7.490.286	299.534	0,00 - 3,00 = C.M.; m; vermelha 3,00 - 8,37 = M.C.; m; r à d; variegado	1 = 5	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 17	
						5 = 45	
						6 = 50	
						7 = 51	
						8 = 53/22	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
8	Alphavi - lle	Quadra A, Lote 05	7.488.486	230.016	0,00 - 7,60 = C.M.; pouco plástica; m à md; vermelha acastanhada  7,60 - 12,40 = C.M.; pouco plástica; vermelha amarelada; md à d.	1 = 3	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 6	
						5 = 4	
						6 = 4	
						7 = 5	
						8 = 9	
						9 = 11	
						10 = 19	
						11 = 13	
						12 = 45/25	
9	Alto da Boa Vista	Quadra 06, Lote 34	7.489.320	221.723	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha; c/ frag. de rocha 0,50 - 5,00 = C.M.; m à md; vermelha 5,00 - 7,00 = C.M.; r; variegada; c/ frag. de rocha 7,00 - 13,85 = M.C.; r à d; variegado	1 = 2/45	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 6	
						5 = 16	
						6 = 8	
						7 = 19	
						8 = 21	
						9 = 27	
						10 = 36	
						11 = 24	
						12 = 24	
						13 = 21	
						14 = 30/10	
10	Alto da Boa Vista	R. Jessica Philip Giusti - Quadra 03, Lote 40	7.489.188	221.500	0,00 - 4,00 = C.M.; plástica; vermelha amarelada; consistência m. 4,00 - 6,70 = C.M.; plástica; vermelha; consistência m. 6,70 - 9,10 = C.M.; plástica; vermelha, cinza, amarela, variegada; consistência r à d.	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2/45	
						4 = 3	
						5 = 9	
						6 = 5	
						7 = 16	
						9 = 30/10	
						11	
2 = 20							
3 = 17							
3,74 = 25/4							
12	Areião	FUMEP - Av. Monsenhor Martinho Salgot N° 560	7.487.212	227.524	0,00 - 0,50 = C.M.; marrom; c/ raízes 0,50 - 2,00 = C.M.; d; variegada 2,00 - 4,10 = M.C.; d; variegado	1 = 30	N.E.
						2 = 30/8	
						3 = 30/10	
						4 = 30/10	
13	Astúrias III	Rua Santa Catarina x Bruno Ferraioli, sem N°	7.481.255	230.450	0,00 - 2,90 = Aterro heterogêneo de material argiloso 2,90 - 4,00 = C.; plástica; r; cinza 4,00 - 5,00 = C.M.; d; variegada 5,00 - 6,37 = M.C.; d; variegado	1 = 11	2,80
						2 = 4	
						3 = 16	
						4 = 25	
						5 = 44	
						6 = 50/22	
14	Bairro Verde	Rua Cacilda Becker x Rua Benedito Bonzon Penteadado, sem N°	7.481.845	228.668	0,00 - 6,00 = C.M.; m; md à r; marrom, cinza; c/ frag. de rocha  6,00 - 7,11 = M.C.; d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 4	
						3 = 6	
						4 = 9	
						5 = 16	
						6 = 30/8	
						7 = 35/11	
15	Beira Rio	Rua Luiz de Queiroz N° 51 - Centro	7.485.514	227.811	0,00 - 3,00 = C.M.; md; vermelha escura 3,00 - 4,50 = M.C.; d e r; variegado; c/ frag. de rocha	1 = 7	4,50
						2 = 7	
						3 = 34	
						4 = 13	
						4,50 = 15/0	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
16	Campestre	Avenida Laranjal Paulista, sem N°	7.479.005	227.036	0,00 - 3,00 = C.M.; md à d; vermelha 3,00 - 8,22 = M.C. (siltito); r à d; variegado (vermelho, amarelo e cinza); estratificado	1 = 12	N.E.
						2 = 11	
						3 = 6	
						4 = 12	
						5 = 16	
						6 = 20	
						7 = 35	
						8 = 30/7	
17	Capim Fino	Rodovia Piracicaba - Rio Claro, Km 27,5	7.491.611	231.129	0,00 - 0,50 = C.S.; vermelha 0,50 - 2,50 = C.S.; compactada; marrom escura; restos orgânicos (negros) 2,50 - 15,00 = C.S.; m à d; vermelha 15,00 - 15,20 = M.C. (siltito); d; variegado (vermelho, amarelo, cinza)	1 = 26	N.E.
						2 = 9	
						3 = 4	
						4 = 4	
						5 = 4	
						6 = 4	
						7 = 7	
						8 = 8	
						9 = 9	
						10 = 11	
						11 = 9	
						12 = 16	
						13 = 17	
						14 = 26	
						15 = 20/5	
18	Castelinho	Rua Dr. Lula - Quadra 57, Lotes 19 ao 26 - Chacara Nazareth, sem N°	7.483.852	226.161	0,00 - 3,00 = C.M.; md; marrom 3,00 - 9,20 = M.C.; md; r à d; variegado	1 = 7	N.E.
						2 = 8	
						3 = 8	
						4 = 11	
						5 = 16	
						6 = 20	
						7 = 18	
						8 = 30	
						9 = 20/5	
19	Caxambu	Av. Comendador Luciano Guidotti, N° 1100	7.482.084	228.988	0,00 - 1,00 = Frag. De Siltito em meio a C.M.; plástica; castanha 1,00 - 3,70 = C.M.; c/frag. De rocha alterada; plástica; castanho amarelada; mm à m. 3,70 - 5,00 = C.M.; c/partículas sub-milimétrica de rocha alterada; plástica c/estruturas reliquiarias; amarela acizentada; d. 5,00 - 6,08 = C.M.; c/frag. Milimétricos de Siltito; plástica; cinza amarelada;d.	1 = 5	N.E.
						2 = 4	
						3 = 2	
						4 = 28	
						5 = 30/10	
						6 = 30/8	
20	Cena	Novo Reservatório - Dependências Internas USP	7.486.334	228.417	0,00 - 4,77 = C.M.; m à md; vermelha escura 4,77 - 5,93 = M.C.; c/ vestígios de rocha em decomposição; r; vermelho claro; amarelo escuro	1 = 4	5,82
						2 = 5	
						3 = 6	
						4 = 6	
						5 = 15	
21	Centro	Av. Dr. Paulo de Moraes, sem N°	7.483.481	227.024	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha 0,50 - 2,00 = C.; m; cinza, verde 2,00 - 7,00 = C.M.; m; r à d; variegado 7,00 - 7,45 = M.C.; d; variegado	1 = 4	2,40
						2 = 4	
						3 = 17	
						4 = 25	
						5 = 22	
						6 = 27	
						7 = 50	
22	Centro	Avenida Independência N° 168, 176 e 190	7.483.436	227.777	0,00 - 4,00 = C.M.; d e r; marrom 4,00 - 6,92 = M.C.; r à d; variegado	1 = 20	3,50
						2 = 14	
						3 = 12	
						4 = 13	
						5 = 20	
						6 = 47	
6,92 = 20/7							

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
23	Centro	Rua Benjamin Constant Nº 440	7.484.828	228.299	0,00 - 3,00 = C.M.; md e m; vermelha escura 3,00 - 5,00 = C.M. c/M.C.; d; variegado e frag. de siltito alterado 5,00 - 7,70 = M.C.; d; variegado; c/ frag. de siltito alterado	1 = 7	N.E.
						2 = 5	
						3 = 21	
						4 = 25	
						5 = 33	
						6 = 25	
						7 = 21	
7,70 = 30/10							
24	Centro	Rua Floriano Peixoto Nº786	7.483.771	227.596	0,00-1,00= C.M.; muito pouco arenosa; plástica; vermelha 1,00-3,00= C.M.; muito pouco arenosa; plástica; vermelha; m à md. 3,00-5,00= C.M. c/ pouca areia laterítica e frag. Carbonosos ;plástica;vermelha c/ manchas amareladas e pontos pretos;md à r. 5,00-6,00= C.M. c/ poucos frag. De rocha alterada; plástica; cinza amarelada e rósea c/ pequenas porções pretas; r à d. 6,00-7,00= C.M. c/ frag. De rocha alterada; plástica; cinza escuro c/ porções amareladas oxidadas; r. 7,00-8,00= M.C. c/ frag. Milimétricos de rocha alterada; pouco plástico; cinza amarelado c/ pequenas porções amareladas oxidadas; d. 8,00 -11,00= M.C. c/ frag. Milimétricos de rocha alterada; pouco plástico; cinza amarelado c/ pequenas porções esbranquiçadas; d. 11,00 -11,20= M.C. c/ frag. Milimétricos de rocha alterada; pouco plástico e untuoso; castanho acizentado c/pequenas porções escurecidas; d.	1 = 5	10,60
						2 = 6	
						3 = 16	
						4 = 9	
						5 = 20	
						6 = 16	
						7 = 40	
						8 = 20	
						9 = 20	
						10 = 20	
						11 = 25/5	
25	Centro	Rua do Rosário, sem Nº	7.484.320	227.544	0,00 - 3,00 = C.M.; md; vermelha escura 3,00 - 7,00 = C.M.; r; vermelha, amarela 7,00 - 12,18 = M.C.; d; variegado	1 = 12	12,10
						2 = 9	
						3 = 11	
						4 = 13	
						5 = 16	
						6 = 18	
						7 = 25	
						8 = 37	
						9 = 30	
						10 = 46	
						11 = 44	
						12 = 25/3	
26	Centro	Rua São José, Nº 435	7.484.711	227.664	0,00 - 5,00 = C.M.; md; vermelha escura 5,00 - 9,00 = C.M.; r; variegada 9,00 - 11,37 = M.C.; d; variegado	1 = 9	9,66
						2 = 5	
						3 = 7	
						4 = 9	
						5 = 13	
						6 = 15	
						7 = 12	
						8 = 14	
						9 = 24	
						10 = 25	
						11 = 50/22	
27	Centro	Rua Treze de Maio, sem Nº - Quadra 77, Lote 55	7.484.808	227.898	0,00 - 6,00 = C.M.; md à r; vermelha escura 6,00 - 9,55 = M.C.; r à d; variegado	1 = 9	9,00
						2 = 7	
						3 = 15	
						4 = 11	
						5 = 10	
						6 = 13	
						7 = 15	
						8 = 20	
						9 = 37	
						9,55 = 20/5	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
28	Centro	Rua 13 de Maio (ao lado Nº 344)	7.484.903	227.655	0,00 - 4,70 = C.M.; md à r; vermelha escura 4,70 - 6,00 = C.M.; r; vermelha, amarela 6,00 - 8,60 = M.C.; md à r; d; variegado	1 = 13	7,90
						2 = 6	
						3 = 10	
						4 = 12	
						5 = 12	
						6 = 9	
						7 = 14	
						8 = 22	
8,60 = 25/5							
29	Chapadão	Bairro Chapadão	7.481.446	233.884	0,00 - 8,80 = Aterro heterogêneo: C.M; C.; entulho; G.; materia orgânica; frag. de madeira 8,80 - 10,22 = M.C.; d; variegado	1 = 24	5,40
						2 = 4	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 6	
						6 = 10	
						7 = 16	
						8 = 39	
						9 = 50	
						10 = 30/7	
30	Chicó	Avenida Francisco Luiz Rasera, ao lado Nº 825	7.480.386	229.238	0,00 - 2,00 = C.S.; pouco plástica; vermelha acastanhada; d. 2,00 - 3,00 = C.M. pouco arenosa; c/ restos de raízes finas e mat. orgânica; castanho escuro; md. 3,00 - 4,00 = C. silto - arenosa; pouco plástica; r; c/ materia orgânica; castanho amarelado 4,00 - 5,60 = C.M. pouco arenosa; pouco plástica; md. 5,60 - 7,00 = C.M.; plástica; rósea e cinza c/ manchas amareladas; d. 7,00 - 10,06 = Argilito alterado - C.M.; plástica; amarelo, róseo;	1 = 20	N.E.
						2 = 7	
						3 = 14	
						4 = 9	
						5 = 8	
						6 = 31	
						7 = 35/10	
						8 = 30/10	
						9 = 30/8	
						10 = 20/6	
31	Cidade Alta	Avenida Independência X Avenida José Micheletti, sem Nº	7.483.880	228.117	0,00 - 4,00 = C.S.; vermelha marrom 4,00 - 5,00 = C.S. c/pouco M.; amarelo 5,00 - 7,00 = C.S. c/pouco M.; vermelho marrom 7,00 - 12,71 = S.A. de M. C.; pouco arenoso; amarelo, cinza variado	1 = 3	8,39
						2 = 4/31	
						3 = 5	
						4 = 13	
						5 = 15	
						6 = 6	
						7 = 10	
						8 = 10	
						9 = 11	
						10 = 12	
						11 = 16	
						12 = 43	
32	Cidade Alta	Rua Bernadino de Campos, sem Nº	7.484.068	228.726	0,00 - 3,00 = C.M.; m à md; vermelha escura 3,00 - 7,20 = M.C.; d; variegado; c/ siltito alterado	1 = 2	Pouca umidade
						2 = 9	
						3 = 19	
						4 = 29	
						5 = 29	
						6 = 19	
						7 = 30/5	
34	Cidade Alta	Rua Dom Pedro I Nº 2231	7.483.466	229.044	0,00 - 0,50 = S.M.; marrom 0,50 - 4,00 = C.S.; m; vermelha, marrom 4,00 - 5,00 = M.C.; r; amarelo 5,00 - 7,00 = C.S.; d; variegada 7,00 - 9,10 = M.C.; d; variegado	1 = 3	6,90
						2 = 4	
						3 = 2	
						4 = 13	
						5 = 26	
						6 = 45	
						7 = 46	
						8 = 32/10	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
35	Cidade Alta	Rua Manoel Ferras de Arruda Campos Nº 670	7.484.241	229.026	0,00 - 2,50 = Aterro heterogêneo: C.M. marrom e entulho de construção (frag. De mármore e granito) 2,50 - 4,00 = sem amostra 4,00 - 5,00 = C.M.; d; marrom 5,00 - 6,00 = C.M.; r; vermelha 6,00 - 8,00 = C.S.; d; variegada 8,00 - 10,23 = M.C.; d; variegado	1 = 12	9,20
						2 = 6	
						3 = 25	
						4 = 45	
						5 = 19	
						6 = 26	
						7 = 52/20	
						8 = 45	
						9 = 45	
						10 = 30/8	
36	Cidade Jardim	Avenida dos Operários Nº 555	7.484.908	228.365	0,00 - 2,00 = C.M.; md; vermelha escura 2,00 - 2,70 = C.M.; md; vermelha, amarela; c/ mat. orgânica 2,70 - 2,75 = M.C.; d; variegado; c/ frag. de rocha muito alterado	1 = 9	N.E.
						2 = 8	
						2,75 = 25/5	
37	Cidade Jardim	Travessa Portugal Nº 146	7.485.185	228.231	0,00 - 2,00 = C.M.; md; vermelha, amarela 2,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha 4,00 - 4,06 = M.C.; d; variegado	1 = 7	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 30/6	
38	Condomínio Colinas de Piracicaba	Quadra 11, Lote 03	7.484.686	225.144	0,00 - 3,45 = C.; plástica; m à md; vermelha  3,45 - 8,20 = M.C.; md à d; amarelo acizentado c/ frag. De seixo quartzoso aos 5m	1 = 4	N.E.
						2 = 6	
						3 = 9	
						4 = 10	
						5 = 24	
						6 = 38	
						7 = 36	
						8 = 25/5	
39	Condomínio Jatobá	Quadra D; Lote 08	7.482.152	229.308	0,00 - 7,00 = C.; plástica; m à r; marrom avermelhada. Presença de raízes nas primeiras amostras  7,00 - 10,20 = M.C.; d; variegado (vermelho, amarelo, cinza)	1 = 8	N.E.
						2 = 5	
						3 = 3	
						4 = 4	
						5 = 7	
						6 = 17	
						7 = 15	
						8 = 19	
						9 = 35	
						10 = 20/5	
40	Condomínio Vila Bela Vista	Quadra 11, Lote 19	7.480.310	230.264	0,00 - 2,00 = C.M. c/ S; plástica; vermelha acastanhada; m. 2,00 - 4,60 = C.M.c/ S; plástica; vermelha; md. 4,60 - 6,00 = C.M.; c/ S; plástica; vermelha amarelada; r. 6,00 - 7,00 = C.M.; c/ S; plástica; vermelha amarelada; r. 7,00 - 8,00 = C.M.; c/ S; pouco plástica; amarela avermelhada c/ pontos esbranquiçados; md à r. 8,00 - 11,00 = C.M. c/ S; pouco plástica; vermelha amarelada c/ porções esbranquiçadas 11,00 - 12,00 = C.M. c/ S; pouco plástica; vermelha amarelada; c/ auréolas de alteração e estruturas reliquiarias escuras; d. 12,00-13,35 =M.C. c/ S; pouco plástico; amarelo acastanhado, c/ porções esbranquiçadas caulinizadas; d.	1 = 4	N.E.
						2 = 7	
						4 = 6	
						5 = 9	
						6 = 15	
						7 = 11	
						8 = 17	
						9 = 23	
						10 = 25	
						11 = 30	
						12 = 40	
						13 = 50/20	
						41	
2 = 33							
3 = 30							
4 = 35							
5 = 35							
6 = 40							
7 = 38							
8 = 43							
9 = 50/23							

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
42	Cruz Caiada	Rodovia SP 127	7.491.618	231.345	0,00 - 13,00 = C.M.; m; md à r; vermelha escura 13,00 - 14,00 = C.M.; d; vermelha, marrom 14,00 - 15,45 = M.C.; d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 2	
						5 = 3	
						6 = 4	
						7 = 7	
						8 = 10	
						9 = 9	
						10 = 11	
						11 = 13	
						12 = 15	
						13 = 20	
						14 = 27	
						15 = 40	
43	Damha	Lote R1	7.486.697	224.990	0,00 - 2,10 = M.C.; d; variegado	1 = 40	N.E.
						2 = 30/10	
44	Dois Córregos	Avenida Dois Córregos Nº 2650	7.482.778	232.255	0,00 - 20,00 = C.S.; m; md; r à d; vermelha. 20,00 - 22,45 = M.C.; d; variegado	1 = 3	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 5	
						5 = 7	
						6 = 8	
						7 = 12	
						8 = 9	
						9 = 12	
						10 = 13	
						11 = 13	
						12 = 20	
						13 = 18	
						14 = 18	
						15 = 19	
16 = 28							
17 = 25							
18 = 24							
19 = 13							
20 = 22							
21 = 33							
22 = 38							
45	Dois Córregos	Rua Batista Formaggio sem Nº	7.482.473	233.662	0,00 - 9,00 = C.M.; m à md; vermelha escura	1 = 7	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 5	
						5 = 6	
						6 = 9	
						8 = 10	
						9 = 41	
						10 = 43	
						11 = 50/22	
						46	
2 = 2							
3 = 3							
4 = 4							
5 = 6							
6 = 7							
7 = 8							
8 = 9							
9 = 9							
10 = 12							
11 = 10							
12 = 4							
13 = 6							
14 = 24							
15 = 30/10							

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
47	Dois Córregos	Vigna Brasil Agricultura LTDA - R. Treze de Maio, Nº 1816	7.484.266	228.988	0,00 - 11,70 = C.M.; mm à r; vermelha escura  11,70 - 15,45 = M.C.; r à d; vermelho claro	1 = 2	N.E.
						2 = 9	
						3 = 11	
						4 = 10	
						5 = 11	
						6 = 10	
						7 = 9	
						8 = 10	
						9 = 11	
						10 = 12	
						11 = 13	
						12 = 13	
						13 = 27	
						14 = 30	
						15 = 35	
48	ESALQ - USP	Anf. Eng.	7.485.900	229.778	0,00 - 2,50 = C.M.; m à md; marrom clara; vermelha clara 2,50 - 7,90 = M.C.; d; vermelho claro, amarelo escuro, cinza claro 7,90 - 11,60 = M.C.; laminado; d; vermelho claro, cinza claro 11,60 - 12,37 = M.S. c/ vestígios de rocha em decomposição; muito compacto; amarelo escuro; cinza claro	1 = 4	4,93
						2 = 6	
						3 = 35	
						4 = 41	
						5 = 44	
						6 = 38	
						7 = 40	
						8 = 43	
						9 = 44	
						10 = 44	
						11 = 48	
						12 = 30/15	
49	ESALQ - USP	Piscina	7.485.735	229.349	0,00 - 0,25 = Piso de concreto 0,25 - 0,85 = C.M.; vermelha clara 0,85 - 3,00 = Siltito argiloso; estratificação plan-paralela; textura clástica; amarelo claro/escuro (rocha sedimentar de origem clástica ou mecânica) 3,00 - 3,10 = M.C.; laminado; d; amarelo escuro 3,10 - 5,00 = Siltito argiloso; estratificação plan-paralela; textura clástica; amarelo claro/escuro (rocha sedimentar de origem clástica ou mecânica)	0,85 - 1,48 = fragmentada	0,18
						1,48 - 2,06 = fragmentada	
						2,06 - 3,00 = fragmentada	
						3,10 - 4,00 = fragmentada	
						4,00 - 5,00 = fragmentada	
50	Glebas Califórnia	Rua Belém, sem Nº	7.485.275	224.428	0,00 - 2,80 = M.C.; r à d; variegado	1 = 16	2,4
						2 = 25	
						2,80 = 25/5	
51	Higienópolis	Rua Amapá Nº 210	7.482.960	228.662	0,00 - 4,00 = C.M.; md à r; marrom  4,00 - 5,00 = C.M.; d; variegada; c/ frag. de rocha  5,00 - 8,87 = M.C.; d; variegado	1 = 7	6,80
						2 = 4	
						3 = 14	
						4 = 50	
						5 = 47	
						6 = 50	
						7 = 23	
						8 = 34	
9 = 30/10							
52	Itaperú	Est. Messias J. Baptista Nº 2007	7.487.594	217.303	0,00 - 4,00 = C.M.; md à r; vermelha, marrom  4,00 - 6,22 = M.C.; d; variegado	1 = 7	2,80
						2 = 6	
						3 = 12	
						4 = 44	
						5 = 47	
						6 = 30/7	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
53	Jaraguá	R. Jane Conceição, Nº1404	7.483.371	226.306	0,00 - 1,00 = C.M.; plástica; vermelha 1,00 - 3,00 = C.M.; c/ frag. Silicosos de 3mm; plástica; vermelha; mm à m. 3,00 - 4,00 = C.M.; c/ frag. Silicosos de 40mm; plástica; vermelha; md. 4,00 - 5,00 = C.M.; c/ frag. silicosos de 20mm; pouco plástica; castanha avermelhada; md. 5,00 - 6,00 = C.M.; c/ frag. Silicosos de 20mm; pouco plástica; castanha vermelhada; md. 6,00 - 8,25 = C.M.; plástica; c/ estrutura reliquiare; amarela, castanha a cinza; variegada; c/ películas pretas; md.	1 = 2	N.E.
						2 = 4	
						3 = 8	
						4 = 12	
						5 = 8	
						6 = 9	
						7 = 42	
						8 = 30/10	
54	Jaraguá	Av. Madre Maria Teodora Nº 59	7.483.013	226.941	0,00 - 2,00 = C.M.; plástica; vermelha; mm. 2,00 - 4,00 = Frag. Silicosos de 30mm; C.M.; plástica; vermelha; md. 4,00 - 5,00 = C.M.; plástica c/ frag. De 20 mm de rocha alterada; variegada (amarela, cinza c/porções avermelhadas); r. 5,00 - 7,00 = Frag. Silicosos de 30mm; C.M.; plástica; vermelha acastanhada c/ porções escuras; r. 7,00 - 8,00 = M.C.; pouco plástico; c/ foliações reliquiare; cinza amarelada c/ películas escurecidas (óxido de manganês); r à d. 8,00 - 9,00 = M.C.; pouco plástico; c/ frag. Silicosos de 3mm; cinza acastanhado; d. 9,00 - 10,00 = Frag. Silicosos de 20mm; c/material siltoso; fofo 10,00 - 10,85 = M.C.; pouco plástico; c/ frag. Carboníticos de rocha alterada de 5mm e frag. Silicosos de 8mm; d.	1 = 2	10,20
						2 = 5	
						3 = 8	
						4 = 14	
						5 = 20	
						6 = 15	
						7 = 20	
						8 = 33	
						9 = 4	
						10 = 35	
55	Jaraguá	Av. Nove de Julho x Av. Dona Jane Conceição, sem Nº	7.483.626	225.859	0,00 - 3,00 = C.M.; md; vermelha escura; c/ frag. de siltito 3,00 - 7,70 = M.C.; d; variegado	1 = 8	7,00
						2 = 10	
						3 = 34	
						4 = 26	
						5 = 19	
						6 = 20	
						7 = 38	
						8 = 20/5	
56	Jaraguá	R. dos Patriotas x Av. Raposo Tavares, sem Nº	7.482.511	226.028	0,00 - 0,80 = Camada de entulho; mm. 0,80 - 3,00 = C.S.; marrom escura; r à md. 3,00 - 4,75 = M.S.; amarelo e cinza escuro; compacta à muito compacta	1 = 13	N.E.
						2 = 8	
						3 = 35	
						4 = 45/15	
57	Jaraguá	R. Hidebrando Seixas Siqueiro Nº 556	7.483.362	226.086	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha escura 0,50 - 6,08 = M.C.; r à d; variegado	1 = 19	N.E.
						2 = 38	
						3 = 49/24	
						4 = 56/22	
						5 = 26/5	
						6 = 30/8	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
58	Jardim Alvorada	Av. Rio das Pedras Nº 2627	7.480.651	231.758	0,00 - 1,00 = S.R. orgânico; marrom escuro; C. plástica; r. 1,00 - 4,00 = C. plástica; md à d; vermelha 4,00 - 8,20 = M.C. - siltito; d; variegado; vermelho, cinza e verde claro	1 = 11 2 = 10 3 = 7 4 = 22 5 = 34 6 = 47 7 = 40 8 = 60/10	N.E.
59	Jardim Astúrias	R. Luiz Pereira Leite x R. Salvador Coelho Neto, sem Nº	7.481.344	229.617	0,00 - 5,00 = C. plástica; vermelha; m à d; c/ raízes 5,00 - 6,10 = Siltito; d; amarelo; estratificado	1 = 5 2 = 4 3 = 5 4 = 10 5 = 33 6 = 30/10	N.E.
60	Jardim Brasília	Rua Olivia Bianco, sem Nº	7.484.704	231.037	0,00 - 3,00 = C.M.; m; vermelha escura 3,00 - 6,20 = M.C.; md; r à d; variegado	1 = 3 2 = 4 3 = 6 4 = 9 5 = 19 6 = 25/5	5,90
61	Jardim Califórnia	Rua General Camara Nº 771	7.481.021	229.065	0,00 - 0,50 = C.M.; r; vermelha escura 0,50 - 5,20 = M.C.; r à d; variegado	1 = 12 2 = 16 3 = 38 4 = 43 5 = 20/5	N.E.
62	Jardim Elite	R. Frei Henrique de Coimbra (ao lado Nº 106)	7.482.494	229.439	0,00 - 6,00 = C.M.; m à md; vermelha 6,00 - 14,70 = M.C.; d; variegado	1 = 10 2 = 4 3 = 4 4 = 5 5 = 9 6 = 45 7 = 46 8 = 20/6 9 = 47 10 = 46 11 = 35 12 = 42 13 = 48 14 = 30/7 14,70 = 15/0	11,60
63	Jardim Elite	Rua Riachuelo Nº 1100	7.483.741	227.913	0,00 - 0,50 = S.C.; vermelha 0,50 - 7,00 = C.S.; m à md; vermelha 7,00 - 8,00 = S.C.; medianamente compacta; variegada 8,00 - 9,20 = M.C.; md e d; variegado	1 = 9 2 = 5 3 = 4 4 = 5 5 = 7 6 = 10 7 = 16 8 = 50/22 9 = 20/5	N.E.
64	Jardim Europa	Rua Dona Eugênia Nº 540	7.485.800	228.277	0,00 - 2,00 = C.M.; md; variegada 8,00 - 8,77 = M.C.; md; r à d; variegado	1 = 6 2 = 8 3 = 10 4 = 12 5 = 20 6 = 17 7 = 22 8 = 50 8,77 = 30/7	7,9
65	Jardim Monumento	Rua Athaulpa Vaz de Mello, Nº 699	7.485.970	226.270	0,00 - 3,00 = C.M.; m; vermelha escura 3,00 - 5,00 = C.M.; md; vermelha, amarela 5,00 - 6,00 = C.M.; r; marrom; c/ frag. de siltito muito alterado 6,00 - 7,55 = M.C.; d; variegado	1 = 4 2 = 4 3 = 8 4 = 7 5 = 15 6 = 22 7 = 33 7,55 = 25/5	7,40

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
66	Jardim Petrópolis	Av. Antonia Pazzinato Sturion, sem N°	7.483.592	230.653	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha escura  0,50 - 6,23 = M.C.; r á d; variegado	1 = 19	4,80
						2 = 47	
						3 = 55	
						4 = 24	
						5 = 24	
						6 = 25/8	
67	Jardim Santa Silvia (Pompéia)	R. Veridiana Aparecida Elesbão N° 462	7.481.950	231.999	0,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha 4,00 - 5,00 = C.M.; d; variegada  5,00 - 8,75 = M.C.; r à d; variegado	1 = 3	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 37	
						5 = 13	
						6 = 13	
						7 = 11	
						8 = 36	
						8,75 = 25/5	
68	Jupia	Av. dos Marins N° 1805	7.484.920	223.909	0,00 - 0,50 = C.M.; marrom clara  0,50 - 8,11 = M.C.; d; variegado	1 = 36	N.E.
						2 = 46	
						3 = 26	
						4 = 21	
						5 = 40	
						6 = 58/20	
						7 = 53	
						8 = 30/11	
69	Marins	Edifício Positano, sem N°	7.484.894	224.529	0,00 - 2,80 = Aterro heterogêneo de material argiloso: C. variegada 2,80 - 6,08 = M.C.; d; variegado	1 = 14	3,60
						2 = 14	
						3 = 47	
						4 = 25/9	
						5 = 27/9	
						6 = 30/8	
70	Mario Dedini	Rua Maria Rita Araujo Costa, sem N°	7.490.108	226.742	0,00 - 1,50 = C. plástica; m à md; vermelha escura 1,50 - 7,00 = C. M. md à d; variegada (vermelha, amarela e cinza) c/ G. (seixos) aos 2m 7,00 - 8,33 = C.M.; d; variegada; marrom amarelada e preto	1 = 5	7,80
						2 = 10	
						3 = 6	
						4 = 8	
						5 = 12	
						6 = 15	
						7 = 20	
						8 = 39/18	
71	Monte Alegre	Cond. Monte Alegre - Al. Leônidas de Almeida Leme - Lotes 01 e 02	7.486.560	233.851	0,00 - 8,00 = C. plástica; m á md; marrom avermelhada  8,00 - 10,25 = M.C. (siltito); r à d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 2	
						3 = 4	
						4 = 4	
						5 = 8	
						6 = 7	
						7 = 9	
						8 = 14	
						9 = 40	
						10 = 25/10	
72	Monte Alegre	Av. Comendador Pedro Monganti N° 4813	7.487.004	233.727	0,00 - 2,60 = M.C.; md; r à d; variegado	0,45 = 9	N.E.
						0,50 = 6	
						1,00 = 16	
						1,50 = 18	
						2,00 = 28	
						2,50 = 30/10	
2,60 = 15/0							
73	Monte Alegre	Residencial Monte Alegre - Quadra A Lote 14	7.486.533	233.407	0,00 - 6,00 = C. plástica; mm à r.; vermelha à marrom  6,00 - 16,20 = M.C.; r à d; vermelho c/ camadas verdes; estratificado	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 3	
						4 = 5	
						5 = 15	
						6 = 16	
						7 = 21	
						8 = 18	
						9 = 14	
						10 = 17	
						11 = 20	
						12 = 27	
						13 = 32	
						14 = 40	
						15 = 45	
						16 = 20/5	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
74	Morada do Engenho	Quadra 15 Lote 04	7.483.680	224.424	0,00 - 7,60 = C.M.; md; vermelha escura 7,60 - 9,00 = C.M.; r; vermelha; marrom 9,00 - 14,22 = M.C.; d; variegado	1 = 6	11,70
						2 = 6	
						3 = 7	
						4 = 6	
						5 = 6	
						6 = 6	
						7 = 9	
						8 = 16	
						9 = 45/20	
						10 = 23	
						11 = 28	
						12 = 27	
						13 = 40	
						14 = 25/7	
75	Morumbi	Av. Antonia Pazinato Sturion, sem Nº	7.483.589	230.669	0,00 - 0,50 = C.; vermelha 0,50 - 2,05 = M.C.; d; amarelo e marrom, acizentado	1 = 30/5	N.E.
						2 = 30/5	
76	Morumbi	Av. Dr. Cassio Paschoal Padovani Nº 625	7.484.323	230.807	0,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha escura 4,00 - 6,00 = C.M.; d; variegada; c/ G. e frag. de rocha 6,00 - 11,20 = M.C.; r à d; variegado	1 = 4	10,90
						2 = 4	
						3 = 5	
						4 = 8	
						5 = 21	
						6 = 24	
						7 = 13	
						8 = 17	
						9 = 11	
						10 = 15	
						11 = 25/5	
77	Morumbi	Av. Dois Córregos, Nº 337	7.483.025	230.181	0,00 - 5,30 = C.; plástica; m à r; vermelha; c/ frag. de Silte na base 5,30 - 8,07 = C.M.; pouco S.; r à d; vermelha; c/frag. de silex (seixos); muito duro (variegado)	1 = 3	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 9	
						5 = 11	
						6 = 18	
						7 = 14	
						8 = 30/7	
78	Morumbi	Av. Dr. Cássio Paschoal Padovani, sem Nº	7.483.930	231.618	0,00 - 9,00 = C.M.; m à md; vermelha escura 9,00 - 16,35 = M.C.; md; r à d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 4	
						5 = 4	
						6 = 4	
						7 = 5	
						8 = 6	
						9 = 8	
						10 = 9	
						11 = 12	
						12 = 18	
						13 = 23	
						14 = 25	
						15 = 34	
						16 = 50/20	
79	Nhô Quim	R. Anita Garibaldi Nº 357	7.486.732	225.765	0,00 - 0,50 = C.M.; marrom c/ raízes 0,50 - 3,00 = C.S.; d; variegada 3,00 - 4,00 = C.S.; d; variegada 4,00 - 5,00 = S.C.; md; compacta c/ G. 5,00 - 6,08 = M.C.; d; variegado c/ frag. de rocha	1 = 12	2,90
						2 = 11	
						3 = 33	
						4 = 25	
						5 = 35	
						6 = 25/8	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
80	Nova América	R. Dom Pedro II x Trav. Saudade, sem N°	7.483.475	229.235	0,00 - 2,00 = S.C.; castanho avermelhada; fofa 2,00 - 8,00 = S.C.; pouco plástica; vermelho acastanhada; fofa à pouco compacta 8,00 - 11,00 = S.C.; pouco plástica; vermelho amarelada; pouco compacta 11,00 - 12,00 = S.C.; pouco plástica; amarelo avermelhada; medianamente compacta 12,00 - 15,10 = S.C.; vermelha e amarela c/ manchas acidentadas; compacta à muito compacta	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 2	
						5 = 3	
						6 = 4	
						7 = 5	
						8 = 6	
						9 = 8	
						10 = 8	
						11 = 13	
						12 = 22	
						13 = 27	
						14 = 40	
						15 = 30/10	
81	Nova Piracicaba	Av. Presidente Kennedy, sem N°	7.485.068	226.479	0,00 - 1,80 = Aterro heterogêneo de C.M.; vermelha 1,80 - 7,00 = C.M.; md à r; variegada 7,00 - 9,08 = M.C.; r à d; variegado	1 = 26	7,80
						2 = 28	
						3 = 7	
						4 = 11	
						5 = 10	
						6 = 9	
						7 = 16	
						8 = 22	
						9 = 30/8	
82	Nova Piracicaba	Rua Assis Chautebrian d, N° 15	7.484.801	226.618	0,00 - 0,50 = MC. Vermelha 0,50 - 4,00 = C.M.; md; vermelha e amarela 4,00 - 5,00 = C.M.; r; variegada 5,00 - 10,38 = M.C.; d; variegado	1 = 7	7,80
						2 = 8	
						3 = 5	
						4 = 12	
						5 = 23	
						6 = 20	
						7 = 18	
						8 = 27	
						9 = 38	
						10 = 53/23	
83	Nova Piracicaba	Rua das Rosas N° 39	7.485.364	225.652	0,00 - 5,00 = M.C.; r à d; variegado 5,00 - 6,00 = G. (frag. De siltito) c/ M.C. 6,00 - 7,21 = M.C.; r à d; variegado	1 = 15	5,80
						2 = 10	
						3 = 16	
						4 = 25	
						5 = 2	
						6 = 16	
						7 = 25/6	
84	Nova Suíça	Rod. Piracicaba - Anhembi Km 06	7.482.442	223.531	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha 0,50 - 4,24 = M.C.; d; variegado	1 = 28	N.E.
						2 = 47	
						3 = 46/23	
						4 = 30/9	
85	Ondas de Piracicaba	Av. das Ondas, sem N° - Quadra A - Lote 8	7.487.611	224.695	0,00 - 1,30 = Aterro de C. variegada 1,30 - 3,00 = C. plástica; md e variegada 3,00 - 5,00 = C.M.; m e md; cinza e marrom 5,00 - 6,00 = M.C.; d; variegado 6,00 - 7,80 = C.M.;d. 7,80 - 11,06 = S. compacta; marrom e cinza	1 = 8	3,90
						2 = 6	
						3 = 3	
						4 = 18	
						5 = 36	
						6 = 45	
						7 = 48	
						7,50 = 30/6	
						8 = 54/21	
						9 = 50	
						10 = 48	
11 = 30/6							

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
86	Ondas de Piracicaba	R. Antonio Pinto Coelho, sem Nº	7.487.992	224.242	0,00 - 1,70 = C.M.; m; marrom clara 1,70 - 2,80 = S.M. c/G.; pouco compacta; amarela escura 2,80 - 3,95 = C.S.; r; marrom clara 3,95 - 5,80 = S.M.; medianamente compacta; amarela escura 5,80 - 8,45 = S.C. c/G.; muito compacta; amarela escura; marrom clara	1 = 4	2,51
						2 = 8	
						3 = 11	
						4 = 14	
						5 = 18	
						6 = 45	
						7 = 47	
87	Pacaembu	R. Benedito B. Penteado, sem Nº	7.481.718	228.710	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha c/ mat. Orgânico 0,50 - 3,00 = C.M.; md; variegada 3,00 - 5,00 = C.M.; r; marrom, cinza 5,00 - 5,35 = M.C.; d; variegado	1 = 9	1,70
						2 = 10	
						3 = 13	
						4 = 16	
						5 = 45/20	
88	Park Campestre	Av. Laranjal Paulista, Nº299 - Quadra A Lote 18	7.478.395	226.276	0,00 - 6,00 = C.M.; m; r à d; vermelha escura 6,00 - 9,20 = M.C.; r à d; vermelho, branco	1 = 5	N.E.
						2 = 6	
						3 = 7	
						4 = 10	
						5 = 12	
						6 = 16	
						7 = 22	
89	Parque São Jorge	Prolink	7.491.027	230.401	0,00 - 8,00 = C.M.; pouco arenosa; m à md; vermelha 8,00 - 10,35 = M.C.; pouco arenoso; variegado (amarelo acizentado) c/frag. de rocha (silex)	1 = 3	N.E.
						2 = 2	
						3 = 1	
						4 = 3	
						5 = 4	
						6 = 5	
						7 = 4	
						8 = 7	
						9 = 25	
						10 = 30/8	
90	Parque Taquaral	R. Londrina, sem Nº	7.479.451	233.896	0,00 - 7,00 = C.M.; md à r; vermelha escura 7,00 - 10,23 = M.C.; r à d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 5	
						5 = 6	
						6 = 8	
						7 = 13	
						8 = 11	
						9 = 38	
						10 = 30/8	
91	Pau Queimado	R. Conchas, sem Nº	7.481.722	224.49	0,00 - 3,21 = M.C.; r à d; variegado	1 = 14	1,90
						2 = 33	
						3 = 25/6	
92	Pau Queimado	R. Jacob Canale, sem Nº	7.481.179	223.587	0,00 - 5,00 = C.M.; m; md à r; variegada 5,00 - 7,03 = M.C.; d; variegado, marrom	1 = 2	4,05
						2 = 6	
						3 = 15	
						4 = 21	
						5 = 38	
						6 = 29	
93	Paulicéia	Av. Raposo Tavares, Nº 1158	7.481.935	227.107	0,00 - 1,20 = M.C.; d; variegado	1 = 25/6	N.E.
						1,20 = 15/0	
94	Paulicéia	R. 21 de Abril, Nº100	7.482.422	228.119	0,00 - 4,63 = M.C.; r à d; variegado, c/siltito muito alterado	1 = 14	3,90
						2 = 21	
						3 = 25	
						4 = 50/19	
						4,63 = 20/3	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
95	Paulicéia	R. Melchior de Mello Castanho x R. Dona Rosália, sem N°	7.482.619	227.831	0,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha escura c/frag. de siltito muito alterado 4,00 - 13,06 = M.C.; md e d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 4	
						3 = 5	
						4 = 10	
						5 = 20	
						6 = 50/20	
						7 = 30/9	
						8 = 27/7	
						9 = 32/11	
						10 = 20/7	
						11 = 30/8	
						12 = 35/10	
						13 = 30/6	
96	Paulista	Rua Dr. Jorge Pacheco Chaves, N°2598 x Avenida Edgard Conceição N°772 e 784	7.483.011	227.268	0,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha escura 4,00 - 5,00 = C.M.; md; variegada c/frag. de siltito 5,00 - 6,00 = G. c/silte argiloso  6,00 - 11,00 = M.C.; d; variegado  11,00 - 13,35 = M.C.; d; variegado c/siltito muito alterado	1 = 3	11,00
						2 = 4	
						3 = 5	
						4 = 6	
						5 = 15	
						6 = 21	
						7 = 34	
						8 = 50	
						9 = 55	
						10 = 20	
						11 = 25	
						12 = 30	
						13 = 50/20	
97	Paulista	R. Fernando de Souza Costa, fundo Av. Café, sem N°	7.483.076	227.423	0,00 - 8,00 = C.M.; m à md; vermelha escura	1 = 2	N.E
						2 = 2	
						3 = 4	
						4 = 4	
						5 = 4	
						7 = 6	
						8 = 22	
						9 = 43	
						10 = 50/20	
						98	
5,00 - 6,50 = Nenhuma							
6,50 - 8,00 = fortemente fraturada							
8,00 - 9,50 = medianamente fraturada							
9,50 - 11,00 = pouco fraturada							
11,00 - 12,50 = pouco fraturado							
99	Pompéia	R. José E.R. Oliveira X Av. Pompéia, sem N°	7.482.145	230.953	0,00 - 2,00 = C.M.; md à r; variegada (vermelha esverdeada) 2,00 - 6,09 = M.C. (siltito); d; cinza esverdeado	1 = 13	0,70
						2 = 7	
						3 = 34	
						4 = 49	
						5 = 54	
						6 = 30/9	
100	Portal das Asturias	Cond. Portal das Asturias	7.484.860	227.597	0,00 - 4,50 = Areia de fundição; fofa à medianamente fofa; compacta; negra; c/ frag. Fundidos de areia ,50 - 5,20 = M.C. (siltito); d; amarelo acizentado	1 = 5	N.E
						2 = 4	
						3 = 4	
						4 = 11	
						5 = 20/5	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
101	Recanto da Água Branca	Lots 1,2 e 3	7.480.896	228.982	0,00 - 4,00 = C.M.; md; r à d; vermelha, marrom 4,00 - 6,23 = M.C.; d; variegado	1 = 8 2 = 10 3 = 12 4 = 27 5 = 45 6 = 50/20	N.E.
102	Reserva das Paineiras	Quadra Z, Lote 30	7.487.860	224.202	0,00 - 2,00 = C.M.; m; variegada 2,00 - 3,20 = M.C.; d; variegado	1 = 4 2 = 33 3 = 20/5	N.E.
103	Reserva do Engenho	Cond. Resid. Monte Alegre - Quadra O, Lote 14	7.482.692	225.342	0,00 - 3,00 = C.M.; md; vermelha escura 3,00 - 9,00 = C.M.; r à d; variegada 9,00 - 9,10 = M.C.; d; variegado	1 = 8 2 = 9 3 = 8 4 = 11 5 = 18 6 = 19 7 = 27 8 = 25 9 = 30/10	8,90
104	Santa Cecília	Av. Dr. Cássio Pascoal Padovani, Nº 1315	7.484.079	231.524	0,00 - 0,50 = S.C.; vermelha 0,50 - 9,00 = C.S.; m; md; r à d; vermelha 9,00 - 13,38 = C.S.; d; variegada	1 = 4 2 = 7 3 = 14 4 = 22 5 = 29 6 = 32 7 = 28 8 = 26 9 = 37 10 = 37 11 = 37 12 = 45 13 = 55/23	N.E.
105	Santa Terezinha	Trav. Hermenegildo Vendemiatti, Nº 50	7.489.678	224.681	0,00 - 3,00 = C.M.; m; variegada 3,00 - 6,19 = M.C.; d; variegado	1 = 2 2 = 2 3 = 35 4 = 30/9 5 = 20/5 6 = 20/4	N.E.
106	Santa Terezinha	R. Nossa Senhora do Carmo, sem Nº - Quadra K, Lote 32	7.489.317	224.533	0,00 - 1,00 = C.S.; pouco plástica; c/ mat. orgânica; castanha acizentada; característica hidromórfica 1,00 - 3,15 = C.M.; c/ poucos seixos rolado (de até 10 mm); pouco plástica; c/ mat. orgânica; cinza escura; características hidromórficas; md à r. 3,15 - 3,20 = C.M.; amarela acizentada; c/ sinais de oxidação; de estruturas reliquiares; d.	1 = 10 2 = 17 3 = 20/5	N.E.
107	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - SP 123	7.488.700	224.700	0,00 - 0,20 = S.C.; fina; bem selecionada; c/ restos vegetais; castanho 0,20 - 4,00 = S.C.; fina; bem selecionada, c/ frag. de folhelho e seixos quartzosos 4,00 - 6,00 = Rocha alterada (folhelho), cinza e verde.	1 = 15 2 = 15 3 = 14 4 = 45 5 = 50/15 6 = 6	0,83
108	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - SP 125	7.488.662	223.747	0,00 - 0,20 = S.C.; bem selecionada; c/ restos vegetais; castanho. 0,20 - 2,95 = S.C.; fina; bem selecionada; cinza e castanho 2,95 - 4,95 = S.md; c/ frag. De folhelho silicificado. 4,95 - 5,19 = rocha alterada (folhelho); castanho escuro.	1 = 2 2 = 7 3 = 38 4 = 49/16 5 = 5	1,15

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
109	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - SP 133	7.486.800	218.880	0,00 - 0,20 = S.C.; fina, bem selecionada, c/ restos vegetais; castanho 0,20 - 4,55 = S.C.; fina a md; amarela e cinza 4,55 - 5,00 = S.; md a grossa; c/ traços de argila, frag. De folhelhos silicificado e seixos de quartzo; amarelo 5,00 - 6,30 = Rocha alterada (folhelho) c/ horizontes silicificados; verde e cinza.	1 = 2	1,30
						2 = 6	
						3 = 4	
						4 = 2	
						5 = 33	
6 = 50/11							
110	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - SP 137	7.487.471	221.472	0,00 - 0,50 = C.S.; plástica; variegada castanho e verde claro 0,50 - 7,75 = C.; plástica; variegada castanho e verde claro 7,75 - 13,50 = Folhelho alterado; castanho	1 = 10	N.E.
						2 = 14	
						3 = 14	
						4 = 17	
						5 = 16	
						6 = 14	
						7 = 12	
						8 = 29	
						9 = 70	
						10 = 65	
						11 = 68	
						12 = 50/12	
111	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - ST 6	7.488.764	223.019	0,00 - 0,20 = S.C.; fina; restos vegetais; cinza 0,20 - 2,00 = C. com raros pedregulhos; plástica; vermelha 2,00 - 6,00 = C.; plástica; estruturada resistente 6,00 - 6,10 = Argilito decomposto	-	N.E.
112	Santa Terezinha	Margem direita do Rio Piracicaba - ST 25	7.488.410	218.775	0,00 - 0,20 = C.S.; plástica c/ raízes; cinza 0,20 - 6,00 = S.M.; plástica; vermelha 6,00 - 6,78 = S.; fina a md; c/ pedregulhos; vermelha	-	N.E.
113	São Dimas	Av. Carlos Botelho X João Sampaio, sem N°	7.485.378	228.953	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha escura; c/ pedregulhos 0,50 - 4,20 = M.C.; r à d; variegado	1 = 14	N.E.
						2 = 25	
						3 = 35	
						4 = 31/5	
114	São Dimas	R. Cap. Emídio, N° 455	7.485.709	228.611	0,00 - 4,00 = C.M.; m; vermelha escura 4,00 - 5,00 = M.C.; d; variegado; c/ siltito muito alterado 5,00 - 9,18 = M.C.; d; variegado	1 = 3	N.E.
						2 = 5	
						3 = 3	
						4 = 7	
						5 = 29	
						6 = 40	
						7 = 46	
						8 = 46	
9 = 20/3							
115	São Dimas	R. Dona Eugênia, N° 250	7.485.937	228.015	0,00 - 3,00 = C.M.; r; variegada 3,00 - 5,21 = M.C.; d; variegado	1 = 14	2,80
						2 = 11	
						3 = 15	
						4 = 43	
						5 = 35/10	
116	São Dimas	R. Paulo Pinto X R. Cap. Emídio, sem N°	7.485.758	228.634	0,00 - 5,00 = C.M.; md e m; vermelha escura 5,00 - 9,08 = M.C.; r à d; variegado	1 = 6	N.E.
						2 = 4	
						3 = 2	
						4 = 6	
						5 = 23	
						6 = 55/22	
						7 = 13	
						8 = 17	
						9 = 30/8	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
117	São Dimas	R. Edu Chaves, Nº 1023 e 1027	7.485.954	228.940	0,00 - 2,00 = C.M.; r; marrom  2,00 - 4,00 = M.C.; d; variegado; c/ frag. de rocha  4,00 - 10,55 = Rocha sã: Diabásio melanocrático; c/ veios de sílica; juntas horizontais; não oxidados	0 - 4 = Sem amostragem	N.E.
						4,00 - 5,00 = fragmentado	
						5,00 - 6,50 = pouco fraturado	
						6,50 - 7,95 = fragmentado	
						7,95 - 9,25 = pouco fraturado	
						9,25 - 10,55 = fragmentado	
118	São Dimas	R. Fernando Febeliano da Costa, Nº 429	7.485.606	228.231	0,00 - 4,00 = C.M.; md; vermelha escura  4,00 - 5,75 = M.C.; md; r à d; variegado	1 = 8	4,70
						2 = 8	
						3 = 6	
						4 = 10	
						5 = 19	
						5,75 = 25/5	
119	São Judas	R. Campos Salles (ao lado Nº 1427)	7.485.033	228.932	0,00 - 2,00 = C.M.; md; vermelha escura  2,00 - 5,23 = M.C.; d; variegado	1 = 6	5,20
						2 = 27	
						3 = 30	
						4 = 34	
						5 = 30/8	
120	São Judas	R. Coronel Barbosa, Nº 68	7.485.061	228.996	0,00 - 0,50 = C.M.; vermelha escura 0,50 - 4,00 = M.C.; r; variegado 4,00 - 5,40 = M.C.; d; variegado; c/ siltito muito alterado	1 = 13	0,50
						2 = 22	
						3 = 18	
						4 = 39	
121	Terras de Piracicaba	R. Dr. Aurelio Scalise, Lot. Terras de Piracicaba III	7.484.123	225.032	0,00 - 0,50 = C.M.; variegada; c/ mat. orgânica 0,50 - 2,70 = M.C.; d; variegado	1 = 47	2,50
						2 = 44	
						2,70 = 30/10	
122	Terras do Engenho	Av. Dona Lídia, Nº 1237	7.485.350	226.825	0,00 - 5,00 = C.M.; m; md à r; vermelha escura  5,00 - 10,35 = M.C.; r à d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 5	
						3 = 8	
						4 = 14	
						5 = 13	
						6 = 22	
						7 = 23	
						8 = 34	
						9 = 37	
						10 = 40/20	
123	Terras do Sinhô 03	Jd. N. Colina, próx. Av. Antonia P. Sturion (UNIMED), sem Nº	7.483.706	230.818	0,00 - 11,00 = C.M.; m à md; vermelha  11,00 - 14,00 = C.M.; d; variegada  14,00 - 15,00 = C.S.; d; variegada  15,00 - 18,00 = C.M.; r; variegada  18,00 - 19,20 = M.C.; r à d; variegado	1 = 3	17,80
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 2	
						5 = 5	
						6 = 4	
						7 = 5	
						8 = 6	
						9 = 9	
						10 = 10	
						11 = 20	
						12 = 17	
						13 = 27	
						14 = 23	
						15 = 17	
						16 = 14	
						17 = 12	
						18 = 48	
						19 = 20/5	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
124	Terras II	R. Marlo dos Santos, Nº 44	7.483.925	225.113	0,00 - 3,00 = C.; plástica; m à md; intercalação areno argilosa; marrom claro e C. plástica esverdeada na base (final nos 3,00 m) 0,00 - 3,66 = Siltito; d; verde; estratificado; pastilhado	1 = 2	3,50
						2 = 6	
						3 = 10	
125	Terras IV	Av. Uriel Odas, sem Nº - Quadra EE, Lote 07	7.484.266	225.086	0,00 - 0,50 = Solo residual marrom escuro 0,50 - 2,43 = Siltito; d; marrom e verde; estratificado	1 = 38	N.E.
						2 = 30/7	
						2,43 = 25/3	
126	UNICAMP	Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Av. Limeira, Nº 901	7.487.032	227.985	0,00 - 5,64 = M.C.; r à d; variegado	1 = 15	Umida de= 3,80 à 5,50
						2 = 15	
						3 = 9	
						4 = 14	
						5 = 20	
5,64 = 25/4							
127	Unileste	Av. Prof. Benedito de Andrade, ao lado Nº 151	7.483.465	233.298	0,00 - 4,00 = C.; plástica; seca; vermelha à marrom; m á md. 4,00 - 8,45 = C.; plástica; md à r; vermelha à marrom 8,45 - 11,35 = M.C. - siltito; d; amarelado e cinza; estratificado	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 5	
						4 = 4	
						5 = 7	
						6 = 10	
						7 = 11	
						8 = 10	
						9 = 20	
						10 = 43	
						11 = 50/20	
128	Unileste	R. Antonio Borja Medina, Nº 1250	7.483.857	233.361	0,00 - 4,80 = C.M.; m á md; vermelha escura 4,80 - 7,00 = C.M.; md; vermelho, marrom clara 7,00 - 13,07 = M.C.; r à d; variegado	1 = 4	11,60
						2 = 5	
						3 = 6	
						4 = 7	
						5 = 8	
						6 = 8	
						7 = 14	
						8 = 25	
						9 = 19	
						10 = 15	
						11 = 8	
						12 = 47	
						13 = 30/7	
129	Unileste	R. Antonio Borja Medina X R. João Franco de Oliveira, sem Nº	7.483.963	233.407	0,00 - 7,70 = C.M.; m à md; vermelha escura 7,70 - 16,38 = M.C.; d; variegado	1 = 23	14,10
						2 = 6	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 4	
						6 = 6	
						7 = 9	
						8 = 39	
						9 = 41	
						10 = 20	
						11 = 30	
						12 = 21	
						13 = 16	
						14 = 10	
						15 = 16	
						16 = 55/23	
130	Unileste	R. Cap. José Pinto Siqueira, Nº 750	7.483.694	233.410	0,00 - 5,00 = C.M.; m à md; vermelha 5,00 - 6,00 = C.M.; md; vermelha c/ nódulos de M.C. 6,00 - 10,35 = M.C.; r á d; variegado; c/ frag. de rocha (siltito muito alterado)	1 = 6	10,20
						2 = 4	
						3 = 5	
						4 = 6	
						5 = 7	
						6 = 16	
						7 = 21	
						8 = 20	
						9 = 33	
						10 = 45/20	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
131	Unileste	R. João Francisco de Oliveira, Nº 750	7.481.066	230.256	0,00 - 5,00 = C.M.; plástica; vermelha acastanhada; mm à m.  5,00 - 13,05 = C.M.; pouco plástica; vermelha amarelada c/ manchas escurecidas (provável óxido de manganês); m à d.	1 = 2	9,70
						2 = 2	
						3 = 3	
						4 = 4	
						5 = 4	
						6 = 5	
						7 = 10	
						8 = 15	
						9 = 7	
						10 = 9	
						11 = 13	
						12 = 20	
						13 = 25/5	
132	Uninorte II	R. Dois, sem Nº - Quadra E, Lote 06	7.491.814	232.233	0,00 - 5,70 = C.M.; m à md; vermelha escura  5,70 - 8,20 = M.C.; d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 3	
						3 = 4	
						4 = 5	
						5 = 7	
						6 = 20	
						7 = 36	
						8 = 20/5	
133	Uninorte	R. Antonio Graneiro Lopes Filho, Nº 100 - Quadra H, Lote 02	7.491.416	232.159	0,00 - 7,90 = C.M.; m; md e r; vermelha escura  7,90 - 9,00 = C.M.; r; variegada  9,00 - 10,23 = M.C.; d; variegado	1 = 11	N.E.
						2 = 4	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 7	
						6 = 8	
						7 = 12	
						8 = 14	
						9 = 30	
						10 = 30/8	
134	Uninorte	R. João Leonardo Fustaino, Nº 201	7.491.099	232.426	0,00 - 8,90 = C.M.; m à md; vermelha escura  8,90 - 10,00 = C.M.; md; vermelha escura c/ nódulos de M.C.  10,00 - 13,09 = M.C.; r à d; variegado	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 7	
						6 = 4	
						7 = 5	
						8 = 6	
						9 = 9	
						10 = 12	
						11 = 13	
						12 = 49	
						13 = 30/9	
135	Vila Boyes	R. Campos Salles X Av. dos Operários, sem Nº	7.485.386	228.328	0,00 - 0,40 = Sem amostragem  0,40 - 6,25 = Rocha: Diabásio pouco alterado e são; melanocrático c/ algumas juntas pouco oxidadas; veios silificados; juntas horizontais e sub-horizontais	0,40 - 3,00 = fragmentado	N.E.
						3,00 - 3,60 = pouco fraturado	
						3,60 - 5,10 = pouco fraturado	
						5,10 - 6,25 = pouco fraturado	
136	Vila D'Aquila	Quadra 02, Lote 01	7.489.641	230.613	0,00 - 4,70 = C.M.; m; vermelha escura  4,70 - 7,00 = C.M.; md; variegada  7,00 - 10,36 = M.C.; r à d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 3	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 10	
						6 = 8	
						7 = 16	
						8 = 35	
						9 = 47	
						10 = 55/21	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
137	Vila Bela Vista	Quadra 12, Lotes 26 e 27	7.489.019	231.300	0,00 - 13,00 = C.M.; plástica; vermelha; c/ poucas raízes finas vegetais 1,00 - 6,70 = C.M.; plástica; vermelha; mm à m. 6,70 - 9,00 = C.M.; pouco plástica; vermelha amarelada; md. 9,00 - 11,00 = C.M.; pouco plástica; vermelha amarelada; c/ poucas estruturas reliquiasres (provável óxido de manganês); r. 11,00 - 15,24 = C.M.; pouco plástica; c/ estruturas reliquiasres; amarela acizentada e películas escurecidas; d.	1 = 2	N.E.
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 4	
						5 = 5	
						6 = 5	
						7 = 9	
						8 = 9	
						9 = 12	
						10 = 13	
						11 = 21	
						12 = 25	
						13 = 28	
						14 = 38	
						15 = 30/8	
138	Vila Independência	Av. Independência X R. Saldanha Marinho, sem Nº	7.484.585	229.562	0,00 - 5,06 = C.M.; plástica; amarela acizentada; d. 5,06 - 9,50 = Argilito siltoso; friável à consistente; fragmentado 9,50 - 11,00 = Não houve recuperação das amostras. Provável Argilito friável	5,06 - 11,00 = Fragmentado	N.E.
139	Vila Independência	R. Napoleão Laureano, Nº 181	7.484.865	229.944	0,00 - 3,00 = C.M.; m; vermelha  3,00 - 12,08 = M.C.; d; variegado	1 = 4	5,10
						2 = 5	
						3 = 45/19	
						4 = 32/11	
						5 = 45	
						6 = 27	
						7 = 40	
						8 = 14	
						9 = 30/9	
						10 = 30/7	
						11 = 25/9	
						12 = 30/8	
140	Vila Independência	R. Bela Vista, Nº 286 (esq. João Sampaio)	7.484.998	229.723	0,00 - 3,00 = M.C.; m; vermelha  3,00 - 7,12 = M.C.; d; variegado	1 = 4	N.E.
						2 = 4	
						3 = 37	
						4 = 52/25	
						5 = 20/10	
						6 = 25/8	
7 = 35/12							
141	Vila Independência	R. Dona Eugênia X R. Bela Vista, Nº 484/488	7.485.195	229.768	0,00 - 2,00 = S.C; quartzosa; castanha avermelhada; fofa 2,00 - 7,20 = S.C.; quartzosa; vermelha; fofa à pouco compacta 7,20 - 12,00 = S.M.; quartzosa; vermelha amarelada; c/ porções acizentadas; pouco compacta à medianamente compacta 12,00 - 13,00 = S.M.; cinza c/ porções amareladas e avermelhadas; compacta 13,00 - 15,00 = S.C.; quartzosa; cinza e amarela; compacta à muito compacta 15,00 - 15,22 = C.S.; pouco plástica; amarela c/ porções acizentadas; d.	1 = 2	14,50
						2 = 2	
						3 = 2	
						4 = 2	
						5 = 5	
						6 = 4	
						7 = 6	
						8 = 9	
						9 = 19	
						10 = 11	
						11 = 16	
						12 = 20	
						13 = 37	
						14 = 50	
						15 = 25/7	
142	Vila Independência	R. Dr. Alvim X Napoleão Laureano, sem Nº	7.485.379	229.976	0,00 - 6,00 = C.M.; md; vermelha escura  6,00 - 10,50 = M.C.; r à d; variegado	1 = 8	9,00
						2 = 9	
						3 = 8	
						4 = 6	
						5 = 8	
						6 = 13	
						7 = 16	
						8 = 17	
						9 = 24	
						10 = 30	
10,50 = 15/0							

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
143	Vila Independência	R. Samuel Neves, sem Nº	7.484.817	229.939	0,00 - 3,00 = C.M.; md; vermelha, marrom 3,00 - 4,00 = C.M.; md; c/ frag. de rocha 4,00 - 6,00 = C.M.; md e r; variegada 6,00 - 9,00 = C.M.; m à md; variegada 9,00 - 10,22 = C.M.; r à d; variegada	1 = 9	7,10
						2 = 7	
						3 = 7	
						4 = 10	
						5 = 17	
						6 = 5	
						7 = 2	
						8 = 6	
						9 = 16	
						10 = 30/7	
144	Vila Industrial	Av. Francisco Álvares X Av. Luiz Ralph Benatti, s/n	7.489.102	226.338	0,00 - 0,50 = S.A. de rocha siltosa; d; marrom acizentado 0,50 - 3,03 = Siltito carbonático; d; estratificado; microfraturado; marrom	1 = 29	N.E.
						2 = 25/6	
						3 = 25/3	
145	Vila Monteiro	R. Marechal Deodoro, sem Nº	7.484.354	229.581	0,00 - 2,60 = Aterro heterogêneo; solo argiloso; marrom escuro; c/ frag. de tijolo  2,60 - 7,45 = C.S.; plástica; d; variegada (marrom escuro à marrom claro - ocre)  7,45 - 9,50 = S.C.; fina; fofa; creme 9,50 - 15,00 = C.M.; plástica; r à d; variegada (marrom, amarela, negra) 15,00 - 16,07 = M.C.; d; cinza; c/ frag. de sílex negro	1 = 10	5,60
						2 = 7	
						3 = 45	
						4 = 30	
						5 = 48	
						6 = 35	
						7 = 19	
						8 = 6	
						9 = 7	
						10 = 13	
						11 = 17	
						12 = 14	
						13 = 11	
						14 = 16	
						15 = 45	
						16 = 30/7	
146	Vila Rezende	Av. Barão de Valença, Nº 716	7.485.888	226.969	0,00 - 6,00 = C.M.; m à md; vermelha escura  6,00 - 9,07 = M.C.; r à d; variegado	1 = 7	8,60
						2 = 5	
						3 = 5	
						4 = 7	
						5 = 9	
						6 = 13	
						7 = 18	
						8 = 30	
						9 = 30/7	
147	Vila Rezende	Av. Dona Lídia, sem Nº	7.485.757	227.212	0,00 - 2,00 = C.; plástica; md; vermelha; c/ restos de raízes  2,00 - 8,00 = M.C.; r à d; variegado (vermelho, verde e amarelo); estratificado; micro fraturado; c/ frag. de sílex  8,00 - 18,00 = Rocha de alterada argilo-siltosa de composição básica (Diabásio); r à d; variegada (amarelo ocre à negro)	1 = 7	N.E.
						2 = 9	
						3 = 32	
						4 = 44	
						5 = 38	
						6 = 51/25	
						7 = 17	
						8 = 12	
						9 = 16	
						10 = 16	
						11 = 20	
						12 = 29	
						13 = 23	
						14 = 26	
						15 = 29	
						16 = 34	
						17 = 51/25	
						18 = 15/0	

Ponto de Sondagem	Local	Endereço	Coordenadas UTM (m)		Descrição do material	N - SPT	N.A.
			Norte	Leste			
148	Vila Rezende	Av. Dona Lídia X R. Dom João Bosco, sem N°	7.485.594	227.129	0,00 - 3,00 = C.M.; r ; vermelha escura; c/ frag. de rocha (siltito alterado)  3,00 - 13,52 = M.C.; r à d; variegado	1 = 12	N.E.
						2 = 12	
						3 = 19	
						4 = 16	
						5 = 15	
						6 = 40	
						7 = 40	
						8 = 44	
						9 = 49	
						10 = 35	
						11 = 40	
						12 = 30/6	
						13 = 25/4	
13,52 = 20/2							
149	Vila Verde	Av. 31 de Março, N° 558	7.482.854	228.120	0,00 - 8,39 = M.C.; d; variegado	1 = 35	4,11
						2 = 30/7	
						3 = 15	
						4 = 31	
						5 = 43	
						6 = 55/21	
						7 = 52	
						8 = 50/24	
150	Vivax I e II	Quadra Poliesportiva	7.490.069	221.206	0,00 - 4,03 = M.C.; d; cinza; variegado	1 = 29	N.E.
						2 = 53/25	
						3 = 30/7	
						4 = 20/3	
<b><u>ABREVIACÕES</u></b>					<b><u>CONSISTÊNCIA DA ARGILAS e SILTE ARGILOSO (N-SPT):</u></b>		
G.C. (Cascalho Argiloso) G.S. (Cascalho Arenoso) G.M. (Cascalho Siltoso) S.M. (Areia Siltosa) S.C. (Areia Argilosa) S.G. (Areia c/Cascalho) M.C. (Silte Argiloso) M.S. (Silte Arenoso) M.G. (Silte c/Cascalho) C.M. (Argila Siltosa) C.S. (Argila Arenosa) C.G. (Argila c/Cascalho)					ATÉ 2 → Muito Mole 2 - 4 → Mole 5 - 10 → Média 11 - 18 → Rija >19 = Dura		
<b><u>CONSISTÊNCIA</u></b>					<b><u>COMPACIDADE S AREIAS e SILTE ARENOSO (N-SPT):</u></b>		
Muito Mole = mm Mole = m Média = md Rija = r Dura = d					0 - 4 → Fofa 5 - 8 → Pouco compacta 9 - 18 → Medianamente Compacta 19 - 40 → Compacta >40 → Muito Compacta		

**APÊNDICE C. Classificação pedológica e unidades lito-estratigráficas dos pontos mapeados – etapa geral.**

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati-gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P1	A	0,00 - 0,82	Ap (com cascalho)	7.490,116	221,426	Alto do São Francisco	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,82 - 1,10	Bi + C						
P2	A	0,00 - 0,18	Ap	7.481,904	228,372	Ed. Provence2	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	1,00 (set/16)
	B	0,18 - 0,33	Bi						
	C	0,33 - 0,82	C						
P3	A	0,00-0,20	Ap	7.482,677	227,849	Ed. Plaza	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	4,60 (set/16)
	B	0,20-1,30	BW1 + Bw2						
P4	A	0,00 - 0,16	Ap	7.484,227	229,001	R. Manoel F. A. Campos, 704	FM. Irati	Neossolo Regolítico (RR)	5,00 (set/16)
	C	0,16 - 2,00	C 1/2/3/4						
P5	B	0,00 - 2,00	Bw	7.483,099	227,555	R. Benjamin x R. Manoel Conceição Conceição	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	
P6	A	0,00 - 0,40	Ap	7.480,142	232,222	Jd. Sol Nascente	FM. Irati	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,40-0,60	Bt						
	C	0,60 - 1,00	C						
P7	A	0,00 - 1,50	Ap	7.488,242	231,168	Santa Rosa	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	1,50 - 5,00	Bn						
	C	> 5,00	C						
P8	B	0,00 - 1,37	Bn	7.487,165	227,910	FOP/Unicamp	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P9	C	> 2,00	C + R	7.486,834	227,458	Fundos do shopping	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
P10	B	0,00 - 1,50	Bw1 (Co)	7.484,766	228,427	R. Voluntários, Centro/ Cidade Alta	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	C	1,50 - 2,80	Bn+C						
P11	A	0,00-0,20	Ap	7.483,906	226,495	R. Prof. Benedito Dutra Teixeira Chácara Nazareth	FM. Tatuí	Neossolo Regolítico (RR)	
	C	0,20 - 3,00	C + R						
P12	C	0,00 - 2,00	C	7.484,203	226,955	R. Antônio Correa Barbosa - próximo ao Sesc	FM. Irati	Neossolo Regolítico (RR)	
P13	A	0,00-0,40	Aterro	7.485,540	228,197	Av. Armando de Salles de Oliveira x Viaduto Rua do Rosário	FM. Serra Geral	Neossolo Litólico (RL)	
	R	0,40-1,50	R+C						
		1,50-2,50	R						

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P14	A	0,00-0,20	aterro	7.485,206	228,351	R. Saldanha Marinho, 818, Jd. Europa	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	0,20- 1,20	Bn + C						
	B	0,30-0,60	Bi + R						
P15	A	0,00-0,30	Ap	7.490,326	221,091	Sítio São José-próx. Alto do São Francisco	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico + Cambissolo Háplico (RL+CX)	
P16	A	0,00-0,50	Ap+(A+B)	7.486,060	227,297	Super Mercado Pague Menos- Av. Dona Francisca	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,50-2,15	Bw1+Bw2						
	C	2,15-2,80	C+R						
P17	A	0,00-0,10	Ap	7.487,442	227,485	Campus da EEP	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho (PV)	
		0,10-0,30	A+B						
	B	0,30-0,60	Bt						
		0,60-0,80	B+C						
C	0,80-1,50	C							
P18	A	0,00-0,50	Ap	7.483,227	228,894	Av. Independência	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	4,00 (mar/17)
	B	0,50-0,75	Bi						
	C	0,75-1,10	C						
	R	1,10-4,00	R						
P19	A	0,00-0,50	Ap	7.482,359	228,248	Av. Bairro Verde- em frente ao 2167	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	3,50 (abr/17)
	B	0,50-0,80	Bi						
	C	0,80-3,50	C						
	R	3,50-5,00	R						
P20	B	0,00-1,00	Bn+C	7.484,765	228,498	R. Regente Feijó, 1124	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P21	A	0,00-0,30	Ap	7.482,241	228,409	Av. 31 de março X R. Ilídia Bachi	FM. Irati	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,30-0,50	Bi						
	C	0,50-5,00	C+R						
	R	dique de diabásio	R						
P22	A	0,00-0,25	Ap	7.482,641	231,253	Av. Dois Córregos, 1481	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,25-3,50	Bw						

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P23	A	0,00-0,25	At	7.487,369	227,739	Campus da EEP	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho (PV)	
	B	0,25-0,70	Bt						
P24	A	0,00-0,10	Ap	7.480,382	228,112	Campestre	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	
	R	0,10-0,80	R						
P25	A	0,00-0,20	Ap	7.477,092	223,902	Fazenda Dona Antonia	FM. Pirambóia	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-0,60	A+B						
	B	0,60-1,00	Bw						
P26	A	0,00-0,10	Ap	7.477,212	223,432	Monjolinho	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	
	R	0,10-1,00	R						
P27	A	0,00-0,20	Ap	7.478,347	222,075	Monjolinho	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX) + Gleissolo	
	B	0,20-0,40	A+(Bg + Bi)						
	R	0,40-0,50+	R						
P28	A	0,00-0,20	Ap	7.477,346	223,257	Monjolinho	FM. Pirambóia	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-1,00	Bw						
P29	A	0,00-0,20	Ap	7.476,825	224,861	Campestre	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,20-1,50	Bw						
P30	A	0,00-0,20	Ap	7.479,117	226,717	Campestre	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,20-4,00	Bw						
P31	A	0,00-0,20	Ap	7.479,185	226,620	Campestre	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,20-0,40	Bi						
	R	>0,40	R						
P32	G	0,00-0,40	Bg	7.477,246	230,210	Próximo do CEASA	FM. Corumbataí	Gleissolo (GX)	

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P33	B	0,00-2,50	Bw (Co)	7.483,361	228,142	Av. Independência x Av. José Domingos Micheletti	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	7,00 (set/17)
	R	2,50-3,50	R=Silexito						
	C	3,50-7,00	C1						
>7,00		C2							
P34	A	0,00-0,20	Ap	7.483,459	229,243	Travessa das Saudades - Nova América	FM. Rio Claro	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,20-1,00	Bt						
P35	Ponto de Observação			7.486,768	233,047	Bairro Monte Alegre	FM. Irati	Neossolo Litólico (RL)	
P36	A	0,00-0,20	Ap	7.488,168	234,674	Anel Viário antigo - entrada para o CTC	FM. Tatui	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,20-1,50	B + A + Bt						
P37	Ponto de Observação			7.488,284	235,398	Acesso ao CTA	FM. Tatui	Latossolo Vermelho (LV)	
P38	B	0,00-1,50	Bn	7.487,798	232,831	Trevo do Anel Viário próx. a SP-147	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P39	A	0,00-0,20	Ap	7.488,884	228,847	Rodovia SP 127 - Próximo IAC	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,20-1,50	Bw						
P40	Ponto de Observação			7.488,850	227,384	IAC - Guamium	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho Latossólico(NVL)	
P41	A	0,00-0,15	Ap	7.488,203	230,246	Santa Rosa	FM. Serra Geral	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,15-0,30	Bi						
	C	0,30-2,75	C						
P42	A	0,00-0,20	Ap	7.489,108	229,429	Santa Rosa	FM. Irati	Neossolo Litólico (RL)	
	R	0,20-3,00	R						
P43	A	0,00-0,30	Ap	7.490,553	229,689	Próximo Usina Modelo	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,30-2,50	Bw						
P44	Ponto de Observação			7.483,668	225,421	Estrada do Boiadeiro	FM. Irati	Neossolo Litólico (RL)	
P45	Ponto de Observação			7.484,769	224,815	Jupia	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P46	A	0,00-0,20	Ap	7.483,607	225,736	Av. 9 de Julho x R. Jane Conceição	FM. Tatuí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,20-0,40	Bi						
	R	0,40-3,00	R						
P47	Ponto de Observação			7.481,406	227,728	Monte Líbano	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	
P48	A	0,00-0,20	Ap	7.484,550	225,025	Parque Piracicaba	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,20-0,40	Bi						
	R	0,40-4,00	R						
P49	A	0,00-0,40	Ap	7.483,721	234,028	Unileste	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	0,40-2,30	Bn						
P50	A	0,00-0,20	Ap	7.483,576	234,521	Unileste	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	0,20-0,80	Bn						
P51	B	0,00-2,00	Bn	7.484,835	234,479	Unileste	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (LV)	
	C	2,00-4,00	C						
P52	A	0,00-0,30	At	7.482,845	233,974	Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,30-0,75	Bw						
P53	Ponto de Observação			7.484,008	235,550	R. Zenaide C. Mazzero- Jd. B. Jesus	FM. Serra Geral	Latossolo Vermelho (LV)	
P54	A	0,00-0,40	At	7.481,264	234,733	Santa Rita - Próximo do Lago	FM. Iratí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,40-0,75	Bw						
P55	A	0,00-0,25	Ap	7.480,029	231,847	Av. Rio das Pedras	FM. Tatuí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,25-0,75	Bt						
	C	0,75-2,00	C						
P56	A	0,00-0,30	Ap	7.479,755	232,011	Av. Rio das Pedras	FM. Tatuí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,30-2,00	Bw						
P57	Ponto de Observação			7.480,536	235,020	Proximidades do Hospital Regional	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P58	A	0,00-0,30	Ap	7.486,432	224,878	Jupiaá	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	
	R	0,30-1,00	R						
P59	A	0,00-0,40	At	7.483,426	230,102	Edifício Por do Sol - Piracicamirim	Depósito Quaternário	Neossolo Flúvico (RY)	
	B	0,40-1,20	C						
P60	A	0,00-0,20	Ap	7.482,818	230,927	Av. Dois Córregos - em frente ao n° 1096	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-2,00	Bw1 + Bw2						
P61	Ponto de Observação			7.482,794	232,609	Cond Piazza Verona - Dois Córregos	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P62	A	0,00-1,30	At	7.485,868	227,115	Av Dona Francisca - Vila Rezende	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	1,30-2,00	Bn						
P63	A	0,00-0,40	At	7.479,028	232,961	Campo dos Condes - Taquaral	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,40-1,60	Bw						
P64	B	0,00-1,00	Bw	7.478,370	234,334	Rod. do Açúcar - em frente UNIMEP	FM. Irati	Latossolo Vermelho (LV)	
	C	1,00-1,60	C + R						
P65	A	0,00-0,35	Ap + (A+B)	7.485,350	231,369	ESALQ/Aeroporto	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,35-1,90	Bw1 + Bw2						
P66	A	0,00-0,20	Ap	7.484,603	234,374	Distrito Unileste - Fundos da Delphi	FM. Serra Geral	Latossolo Vermelho (LV)	
	B1	0,20-0,40	BA						
	B2	0,40-0,70	BW1						
	B3	0,70-1,20	BW2						
	B4	1,20-4,00	BW3						
	B5	4,00-10,00	BC						
C	10,00-12,00	C							
P67	B	0,00-2,00	Bn	7.481,170	236,439	Fazenda São Francisco	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P68	A	0,00-0,40	Ap+ (A+C)	7.483,951	226,199	R. Romeu de Souza Carvalho - em frente a E.M. Larissa Rossetti Travaglini	FM. Tatuí	Neossolo Regolítico (RR)	
	C	0,40-0,70+	C+R						

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P69	A	0,00-0,30	Aterro	7.486,484	228,092	Lar dos Velinhos	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	0,30-1,50	Bn						
	R	1,50-2,50	R+C						
P70	B	0,00-2,50	Bn	7.486,410	227,918	Lar dos Velinhos	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P71	A	0,00-0,40	Ap	7.476,741	233,426	Anel Viário do CEASA	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,40-3,00	Bw						
P72	B	0,00-2,00	Bn	7.484,824	230,129	R. Samuel Neves, 2615. V. Ind.	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P73	Ponto de Observação			7.484,890	230,294	R. Frei Luíz Santana, 174. V. Ind.	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P74	Ponto de Observação			7.481,239	228,308	R. Antonio Bacchi	FM. Corumbataí	Neossolo Litólico (RL)	
P75	A	0,00-0,30	At	7.484,264	228,100	R. Benjamin X R. XV	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	3,00 (ago/18)
	B	0,30-0,90	Bn						
	C	0,90-5,50	C+R						
P76	Ponto de Observação			7.484,480	227,761	R. Alferes s/n	FM. Serra Geral	Latossolo Vermelho (LV)	
P77	Ponto de Observação			7.485,208	227,615	R. Luiz de Queiroz X R. Regente Feijô	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P78	A	0,00 - 1,50	At	7.484,977	228,368	Av. Armando de Salles X R. Mons. Rosa	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
	B	1,50 - 2,50	Bn						
	C	2,50 - 3,00	C+R						
P79	A	0,00-0,20	At	7.485,085	225,771	Av. dos Maçons, ao lado do n. 674	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
P80	B	0,00-4,50	Bw	7.491,351	230,479	Parque São Jorge- PROLINK	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
P81	B1	0,00-1,00	Bw1	7.481,854	233,207	Rod. Açucar km 159- RECUPERE	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B2	1,00-2,00	Bw2						
P82	A	0,00-2,00	At	7.484,568	226,356	Av. Dona Francisca X Av. Pres. Kenedy	FM. Serra Geral	Neossolo Litólico (RL)	
	R	2,00-3,00	R						
P83	Ponto de Observação			7.484,970	227,052	Engenho Central	FM. Serra Geral	Cambissolo Háplico (CX)	

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P84	A	0,00-0,40	Ap	7.485,276	226,976	Av. Dona Lídia, 1010	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B	0,40-1,40	Bt						
	C	1,40-3,00	C						
P85	A	0,00-0,30	Ap	7.489,908	227,453	Estrada de Godinhos	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,30-0,50	Bi						
	R	0,50-1,20	R						
P86	A	0,00-0,30	Ap	7.490,413	227,484	Estrada de Godinhos	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	0,30-1,80	Bw						
P87	B1	0,00-0,70	Bn	7.491,381	228,943	Próx. Usina Modelo	FM. Serra Geral	Nitossolo Latossólico (NV)	
	B2	0,70-2,00	Bw						
P88	A	0,00-6,00	At	7.483,389	228,910	Av. Independência X R. Ipiranga (escadaria)	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	2,50 (fev/19)
P89	A	0,00-0,30	Ap	7.488,050	228,230	Fazenda Areão (próx. Observatório)	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho (PV)	
	B	0,30-1,20	Bt						
	C	1,20-1,70	C						
P90	B	0,00-2,00	Bn	7.482,406	229,745	Av. Alberto Volet Sachs X R. Santa Catarina	FM. Serra Geral	Nitossolo Vermelho (NV)	
P91	R	0,00-1,50	R	7.482,451	226,410	R. Rosário Tomazello, 415	FM. Serra Geral	Neossolo Litólico (RL)	
P92	A1	0,00-0,20	Ap	7.481,990	222,312	Entrada da Nova Suíça	FM. Pirambóia	Argissolo Amarelo (PA)	
	A2	0,20-0,50	A+B						
	B	0,50-1,00	Bt						
	C	1,00-2,50	C						
P93	A1	0,00-0,40	Ap	7.481,737	221,317	Entrada da Volta Grande	FM. Pirambóia	Argissolo Amarelo (PA)	
	A2	0,40-0,70	A+B						
	B	0,70-2,00	Bt						

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P94	A	0,00-0,20	Ap	7.481,405	225,962	R. Zulmira Ferreira do Valle, 1330	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	B	0,20-0,40	Bi						
	C	0,40-2,00	C+R						
P95	H	0,00-0,20	H	7.486,989	229,273	ESALQ- Várzea	FM. Serra Geral	Gleissolo Melânico (GM)	0,20 (mai/19)
	A	0,20-0,40	Ag						
P96	A	0,00-0,20	Ap	7.493,933	223,109	Rod. Charqueada x Trevo da Pedreira	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	R	0,20-2,50	R						
P97	Ponto de Observação			7.477,320	230,007	Próximo Ceasa-Ponte Piracicamirim	FM. Corumbataí	Neossolo Flúvico (RY)	
P98	A	0,00-1,00	At	7.479,759	228,694	R. Thereza de Mello Ocaña x R. Luís Dafara	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
	B	1,00-2,80	Bw						
	C	2,80-3,10	C						
P99	Ponto de Observação			7.479,237	228,876	Estrada Francisco Luiz Razera	FM. Corumbataí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
P100	B	0,00-3,00	Bw	7.478,100	228,492	Estrada Água Branca x Chicó	FM. Corumbataí	Latossolo Vermelho (LV)	
P101	A	0,00-0,20	Ap	7.483,651	229,434	Av. Barão de Piraci//- próx. Cemitério	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B	0,20-2,40	Bw						
P102	A	0,00-0,20	Ap	7.481,039	232,444	Bº Pompéia	FM. Tatuí	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)	
	B1	0,20-0,60	Bt1						
	B2	0,60-1,50	Bt2						
P103	B	0,00-1,40	Bw	7.480,000	234,768	Próx. Hospital regional	FM. Irati	Latossolo Vermelho	

Ponto mapeado	Horizonte	Profundidade (m)	Tipo de horizonte	Coordenadas (km)		Localidade	Unidade litoestrati - gráfica	Classificação pedológica*	N.A. (m)
				N	E				
P104	A	0,00-0,20	Ap	7.480,122	233,082	R. Eduardo Freitas Salles s/n- CECAP	FM. Rio Claro	Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	
	B1	0,20-0,90	Bw1						
	B2	0,90-2,00	Bw2						
P105	C	0,00-1,00	C/R	7.479,942	232,613	R. Eucrydes Lopes s/n- CECAP	FM. Irati	Cambissolo Háplico (CX)	
P 106	A	0,00-0,50	Ap	7.482,157	232,054	Bº Dois Córregos	FM. Irati	Cambissolo Háplico (CX)	
	C	0,50-2,50	C/R						
P107	B	0,00-1,50	Bn	7.487,741	222,629	Bº Ondinhas	FM. Corumbataí	Nitossolo Vermelho (NV)	
P108	A	0,00-0,10	Ap	7.488,061	223,827	Bº Ondinhas	FM. Corumbataí	Cambissolo Háplico (CX)	
	C	0,10-0,40	C						
	R	0,40-1,50	R						

**APÊNDICE D. Resultados dos ensaios de caracterização e estudo de compactação de solo – Etapa Geral**

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN - DIDADE (m)	HORIZONTE	ÍNDICES FÍSICOS							COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)							ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA (%)			COMPACTAÇÃO (energia normal)				M.O (%)
				$\chi_n$	h	$\gamma_o$	$\delta$	e	$\eta$	SR	G	SG	SM	SF	M	C	$\phi < 2,0$ mm	LL	LP	IP	$h_{ot}$	$\gamma_o$ máx	CBR	Exp	
P1	P1 A	0,00 - 0,55	Ap	1,560	17,27	1,399	2,703	0,934	48,25	50,19	4,0	12,0	15,5	16,5	34,0	18,0	54,50	26,85	15,49	11,36	-	-	-	-	3,35
P1	P1 B	0,82 - 1,10	Bi +C	1,537	54,55	0,994	2,724	1,742	63,50	85,47	0,0	0,5	0,5	7,0	45,5	46,5	99,06	70,90	33,61	37,29	32,50	1,348	9,59	1,05	-
P2	P2 A	0,00 - 0,18	Ap	1,732	18,60	1,461	2,622	0,790	44,27	61,73	1,0	6,0	6,0	9,0	46,0	32,0	82,39	45,00	23,00	22,00	-	-	-	-	3,85
P2	P2 B	0,18 - 0,33	Bi	1,873	12,23	1,669	2,644	0,560	36,88	55,75	2,0	4,0	7,0	7,0	48,0	32,0	82,46	38,00	22,00	16,00	-	-	-	-	-
P2	P2 C	0,33 - 0,82	C	1,912	16,08	1,647	2,708	0,640	39,19	43,54	1,0	3,0	2,0	8,0	30,0	56,0	89,30	58,00	39,00	19,00	26,60	1,502	7,97	0,52	-
P3	P3 B1	0,20 - 0,60	Bw1	1,435	17,69	1,219	2,697	1,212	54,81	39,36	0,1	1,2	4,2	1,5	39,0	44,0	83,95	40,00	24,00	16,00	22,60	1,620	-	-	-
P3	P3 B2	0,60 - 1,30	Bw2	1,468	20,22	1,221	2,805	1,297	56,46	43,73	0,2	0,7	3,1	2,6	27,0	43,0	86,37	43,50	31,50	12,00	24,45	1,570	8,56	0,80	-
P4	P4 A	0,00 - 0,16	Ap	1,854	13,02	1,640	2,710	0,650	39,39	54,28	5,0	2,5	7,5	13,5	12,5	59,0	68,64	45,20	25,53	19,67	-	-	-	-	-
P4	P4 C1	0,16 - 0,95	C1	1,913	11,33	1,718	2,688	0,580	35,90	54,38	0,5	2,0	9,0	12,5	12,5	59,0	66,47	39,40	23,47	15,93	-	-	-	-	-
P4	P4 C2	0,95 - 1,45	C2	1,899	5,83	1,794	2,733	0,550	35,48	29,39	1,0	3,0	19,5	21,5	14,0	41,0	53,61	35,20	21,10	14,10	17,50	1,754	9,59	0,47	-
P4	P4 C3	1,45 - 1,70	C3	1,904	7,55	1,770	2,752	0,550	35,48	37,78	3,5	4,0	10,5	8,5	24,0	49,5	75,17	48,55	24,39	24,16	-	-	-	-	-
P4	P4 C4	1,70 - 2,00	C4	1,925	9,88	1,752	2,690	0,540	35,06	49,22	0,5	2,0	18,5	43,0	8,5	27,5	37,96	24,60	16,29	8,31	-	-	-	-	-
P5	P5 B	0,00 - 2,00	Bw	1,563	23,67	1,264	2,672	1,114	52,69	56,77	0,5	1,0	5,5	18,0	21,0	54,0	78,10	43,20	22,81	20,39	20,75	1,679	11,30	0,12	-
P6	P6 A	0,00 - 0,40	Ap	1,673	1,50	1,647	2,579	0,570	36,31	6,79	0,5	3,5	8,0	16,0	58,0	14,0	73,56	18,70	-	-	-	-	-	-	1,25
P6	P6 B	0,40 - 0,60	Bi	1,794	8,04	1,659	2,648	0,600	37,35	35,48	1,0	2,5	4,5	17,5	40,5	34,0	80,87	30,50	19,72	10,78	19,00	1,696	7,35	0,19	-
P6	P6 C	0,60 - 1,00	C	1,823	15,50	1,578	2,642	0,670	40,28	60,76	1,0	1,0	3,5	7,5	34,5	52,5	86,78	56,50	32,73	23,77	26,5	1,516	7,60	0,07	-
P7	P7 A	0,00 - 1,50	Ap	1,788	20,94	1,478	2,876	0,950	48,51	63,39	9,0	6,5	6,5	8,0	21,5	48,5	70,73	45,55	33,19	12,36	0,00	0,00	-	-	-
P7	P7 B	1,50 - 5,00	Bn	1,444	21,88	1,188	2,914	1,450	59,18	43,97	0,5	0,5	5,5	13,5	46,0	34,0	89,56	49,60	35,38	14,22	29,5	1,554	4,47	0,89	-
P7	P7 C	> 5,00	C	1,503	21,08	1,241	2,697	1,173	53,99	48,46	-	5,0	15,5	30,0	43,5	6,0	64,61	38,60	28,26	10,34	26,5	1,499	-	-	-
P8	P8 B	0,00 - 1,37	Bn	1,714	25,57	1,365	2,815	1,062	51,52	67,78	1,0	3,0	5,5	3,5	26,5	60,5	82,43	48,00	31,58	16,42	27,8	1,513	-	-	-
P9	P9 C	>2,00	C	1,713	50,13	1,141	2,618	1,294	56,43	100,00	8,5	3,5	1,5	1,0	32,5	53,0	91,50	71,90	44,50	27,40	39,75	1,247	-	-	-
P10	P10 B	0,00 - 1,50	BW-1	1,584	12,11	1,413	2,736	0,950	48,42	35,13	1,5	2,5	13,5	20,0	13,0	49,5	63,36	32,70	21,15	11,55	19,5	1,73	-	-	-
P10	P10 C	1,50 - 2,80	BW-2 / C	1,758	22,96	1,430	2,895	1,020	50,50	65,17	4,0	8,5	9,5	17,5	32,5	28,0	67,44	51,50	27,83	23,67	27,5	1,555	-	-	-

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN- DIDADE (m)	HORIZONTE	ÍNDICES FÍSICOS								COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)							ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA (%)			COMPACTAÇÃO				M.O (%)
				Xn	h	yo	δ	e	η	SR	G	SG	SM	SF	M	C	Ø<2,0 mm	LL	LP	IP	h <sub>ot</sub>	Y <sub>o</sub> máx	CBR	Exp		
P11	P11 C	0,20-3,00	C + R	1,825	19,54	1,527	2,677	0,750	42,86	69,74	-	-	1,0	28,5	34,0	36,5	89,65	39,40	26,35	13,05	25,15	1,502	15,85	0,32	-	
P12	P12 C	0,00 - 2,00	C	1,687	22,78	1,374	2,718	0,980	49,40	63,18	22,5	3,0	2,5	2,5	28,0	41,5	69,35	60,85	29,80	31,05	24,5	1,606	5,23	-	-	
P14	P14 B	0,20 - 1,20	Bw	1,701	20,72	1,409	2,840	1,016	50,40	57,92	-	1,0	8,0	19,5	20,0	51,5	78,26	44,00	23,97	20,03	-	1,653	7,58	0,03	-	
P15	P15 A	0,00-0,60	A + C	1,886	17,59	1,604	2,580	0,610	37,83	74,40	10,0	6,5	5,5	13,5	31,5	33,0	73,63	46,00	27,49	18,51	20,85	1,650	4,06	1,53	2,40	
P16	P16 A	0,15-0,50	A + B	1,870	12,35	1,664	2,636	0,580	36,86	56,13	1,0	10,0	19,0	22,5	20,5	27,0	48,18	24,40	17,50	6,90	-	-	-	-	-	
P16	P16 B1	0,50-0,90	Bw1	1,793	15,39	1,554	2,596	0,670	40,13	59,63	0,5	7,5	13,5	19,5	21,0	38,0	60,92	30,40	23,00	7,40	17,00	1,796	7,23	-	-	
P16	P16 B2	0,90-2,15	Bw2	1,725	13,88	1,514	2,652	0,610	37,72	60,84	2,5	9,0	12,5	20,0	14,5	41,5	57,51	29,45	17,24	12,21	16,00	1,865	9,23	-	-	
P17	P17 A1	0,00-0,10	AP	1,991	13,21	1,759	2,662	0,510	33,92	68,95	1,5	4,0	9,5	15,0	28,0	42,0	72,57	35,80	25,42	10,38	-	-	-	-	3,85	
P17	P17 A2	0,10-0,30	A+B	1,799	17,40	1,525	2,692	0,770	43,35	60,83	0,5	2,0	7,0	8,0	21,5	61,0	83,29	55,10	27,48	27,62	-	-	-	-	1,87	
P17	P17 B	0,30-0,60	BT	1,651	18,98	1,388	2,662	0,920	47,86	54,92	1,0	3,5	6,5	6,5	15,0	67,5	82,72	53,40	36,88	16,52	-	-	-	-	3,51	
P17	P17 C	0,60-1,50	(B+C)+C	1,935	18,55	1,632	2,800	0,720	41,72	72,14	0,5	2,0	5,5	8,0	26,0	58,0	85,21	52,60	32,59	20,01	26,25	1,532	11,66	0,10	-	
P22	P22 B	2,00-2,60	Bw	1,632	5,98	1,540	2,615	0,700	41,18	22,34	0,5	0,5	20,0	38,0	13,0	28,0	42,03	23,40	13,50	9,90	11,30	1,946	12,49	-	-	
P23	P23B	0,25 - 0,70	Bt	1,917	17,50	1,631	2,737	0,680	40,41	70,44	8,0	4,5	6,5	8,5	24,5	48,0	73,70	40,60	22,09	15,51	23,30	1,558	16,16	0,04	-	
P25	P25 B	0,40 - 1,00	(A+B)+BW	1,657	19,48	1,387	2,606	0,880	46,75	57,69	-	0,5	9,0	26,5	13,0	51,0	64,19	33,40	21,92	11,48	19,10	1,725	10,48	-	-	
P30	P30 B	1,00 - 3,00	BW	1,371	8,30	1,267	2,710	1,140	53,22	19,73	-	0,5	9,0	32,0	15,0	43,5	59,35	33,00	18,57	14,43	16,75	1,751	16,75	0,04	-	
P34	P34 B	0,20 - 1,20	BT	1,644	3,52	1,588	2,663	0,680	40,37	13,85	-	1,5	33,5	37,0	5,0	23,0	29,42	15,45	11,89	3,56	9,65	2,045	13,60	-	-	
P36	P36 B1	0,20-0,60	BA	1,726	6,13	1,626	2,641	0,620	38,44	26,11	1,0	3,5	20,5	13,5	32,5	29,0	62,13	24,50	15,95	8,55	12,30	1,856	11,21	0,09	-	
P36	P36 B2	0,60 - 1,50	BT	1,745	10,38	1,581	2,761	0,750	42,75	38,21	-	2,5	9,5	10,5	22,5	55,0	80,20	43,60	24,57	19,03	23,10	1,564	9,30	0,03	-	
P38	P38 B	0,00-1,50	Bn	1,660	18,70	1,398	2,775	0,980	49,49	52,95	-	1,5	5,5	12,0	14,5	66,5	82,22	38,00	26,55	11,45	25,50	1,607	6,34	-	-	
P49	P49 B	0,40-2,30	Bn	1,889	18,40	1,595	2,768	0,740	46,39	68,83	-	1,5	15,5	22,5	14,5	46,0	62,52	28,90	16,12	12,78	18,20	1,812	5,83	-	-	
P52	P52 B	0,30-0,75	Bw	1,805	19,48	1,511	2,744	0,820	45,05	65,19	-	2,0	28,0	24,0	3,0	43,0	46,83	24,40	16,88	7,52	16,15	1,797	3,77	-	-	
P54	P54 B	0,40-0,75	Bn	1,707	22,06	1,398	2,889	1,070	51,60	59,56	-	2,5	9,0	16,0	23,5	49,0	73,27	37,20	23,36	13,84	24,20	1,650	4,50	-	-	
P55	P55 B1	0,25-0,75	Bt	1,871	18,74	1,576	2,768	0,760	43,07	68,25	1,5	2,0	5,0	5,5	52,5	33,5	88,18	51,00	25,70	25,30	21,30	1,627	9,51	-	-	
P56	P55 B2	0,30-2,00	Bw	1,712	20,19	1,424	2,746	0,930	48,15	59,61	-	1,0	11,0	30,0	15,5	42,5	64,40	35,30	23,25	12,07	17,10	1,710	6,30	-	-	

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN - DIDADE (m)	HORIZONTE	ÍNDICES FÍSICOS							COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)							ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA (%)			COMPACTAÇÃO				M.O (%)
				$\gamma_n$	h	$\gamma_o$	$\delta$	e	$\eta$	SR	G	SG	SM	SF	M	C	$\phi < 2,0$ mm	LL	LP	IP	$h_{ot}$	$\gamma_o$ máx	CBR	Exp	
P59	P59 C	0,40- 1,20	C	1,957	25,37	1,561	2,585	0,660	39,76	96,87	0,5	1,0	1,5	11,0	23,5	62,5	94,62	53,80	31,17	22,63	28,50	1,436	3,15	0,39	-
P60	P60 B1	0,20 - 0,80	BW1	1,664	9,45	1,520	2,611	0,720	41,73	34,27	0,5	1,0	15,0	32,5	19,0	32,0	52,94	23,20	13,73	9,47	13,10	1,870	9,15	-	-
P60	P60 B2	0,80 - 2,00	BW2	1,523	10,70	1,376	2,681	0,950	48,64	30,20	0,5	1,0	14,0	35,0	19,0	30,5	54,28	24,45	15,37	9,06	14,00	1,854	4,82	-	-
P63	P63 B	0,40 - 1,60	Bw	1,518	11,03	1,367	2,705	0,979	49,46	30,48	-	1,0	16,0	24,5	13,5	45,0	62,06	37,60	21,24	16,36	18,50	1,742	7,77	-	-
P65	P65 B	1,20-1,50	Bw	1,668	9,25	1,527	2,563	0,680	40,48	34,86	-	1,5	26,5	26,5	4,5	20,0	33,09	19,00	16,05	2,95	10,15	2,004	15,40	-	-
P66	P66 B	2,00-4,00	Bw	1,536	17,38	1,309	3,008	1,300	56,48	40,21	-	2,5	6,5	19,0	24,0	48,0	79,82	40,00	28,30	11,70	25,50	1,614	7,87	-	-
P80	P80 B	3,50 - 5,00	Bw	1,461	13,33	1,289	2,739	1,125	52,94	32,45	-	1,5	12,5	24,0	13,0	49,0	62,38	34,33	21,52	12,81	20,50	1,663	-	-	-
P81	P81 B	1,00 - 2,00	Bw	1,671	14,06	1,465	2,623	0,790	44,16	46,68	-	2,5	27,5	25,0	7,0	38,0	45,57	22,00	14,00	8,00	13,48	1,883	8,55	-	-
P87	P87 B	0,70 - 2,00	Bw	1,766	16,74	1,513	3,014	0,990	49,80	50,96	-	1,0	5,5	11,5	26,0	56,0	82,37	45,80	27,90	17,90	24,87	1,606	7,38	0,04	-
P89	P89 A	0,00-0,30	Ap	1,966	17,68	1,671	2,788	0,670	40,11	73,57	1,0	3,5	9,0	17,0	29,0	40,5	72,11	35,90	21,00	14,90	-	-	-	-	3,67
P89	P89 B	0,30-1,20	Bt	1,716	24,94	1,373	2,801	1,040	50,98	67,17	1,0	3,0	4,0	7,0	17,0	68,0	83,35	53,00	28,90	24,10	27,75	1,506	7,97	-	-
P93	P93 A	0,00-0,40	Ap	1,570	6,43	1,475	2,623	0,780	43,82	21,62	-	1,0	21,0	56,0	11,0	11,0	31,86	20,90	13,50	7,40	-	-	-	-	-
P93	P93 B1	0,40-0,70	A+B	1,610	5,50	1,526	2,668	0,750	42,81	19,62	-	0,5	21,0	48,5	11,0	19,0	36,31	22,60	13,78	8,82	12,70	1,863	-	-	-
P93	P93 B2	0,70-2,00	Bt	1,622	7,71	1,506	2,658	0,760	43,34	26,96	-	1,0	37,0	31,0	11,0	20,0	31,02	25,80	13,62	12,18	14,00	1,813	-	-	-
P95	P95 H	0,00-0,20	H	1,625	32,03	1,382	2,684	0,940	48,51	91,46	7,0	8,5	6,5	17,5	37,5	23,0	67,86	35,60	21,20	14,40	-	-	-	-	2,90
P95	P95 A	0,20-0,40	Ag	1,679	56,31	1,074	2,753	1,560	61,00	99,37	1,5	3,5	6,5	11,0	39,5	38,0	79,24	69,10	40,44	28,66	-	-	-	-	10,49
P104	P104 B	0,90 - 2,00	BW2	1,605	13,03	1,420	2,641	0,650	39,24	52,94	-	1,0	27,0	37,0	12,5	22,5	45,36	21,75	14,34	7,41	-	-	-	-	-

$\gamma_n$  = massa específica natural do solo (g/cm<sup>3</sup>)

h = teor de umidade natural

$\gamma_o$  = massa específica natural seca de solo (g/cm<sup>3</sup>)

$\delta$  = massa específica dos sólidos do solo (g/cm<sup>3</sup>)

e = índice de vazios (—)

$\eta$  = porosidade (%)

G = cascalho

SG = areia grossa

SM = areia média

SF = areia fina

M = silte

C = argila

$h_{ot}$  = umidade ótima (%)

$\gamma_o$  máx = massa específica seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)

CBR = índice de suporte Califórnia (%)

Exp = expansibilidade (%)

SR = grau de saturação do solo (%)

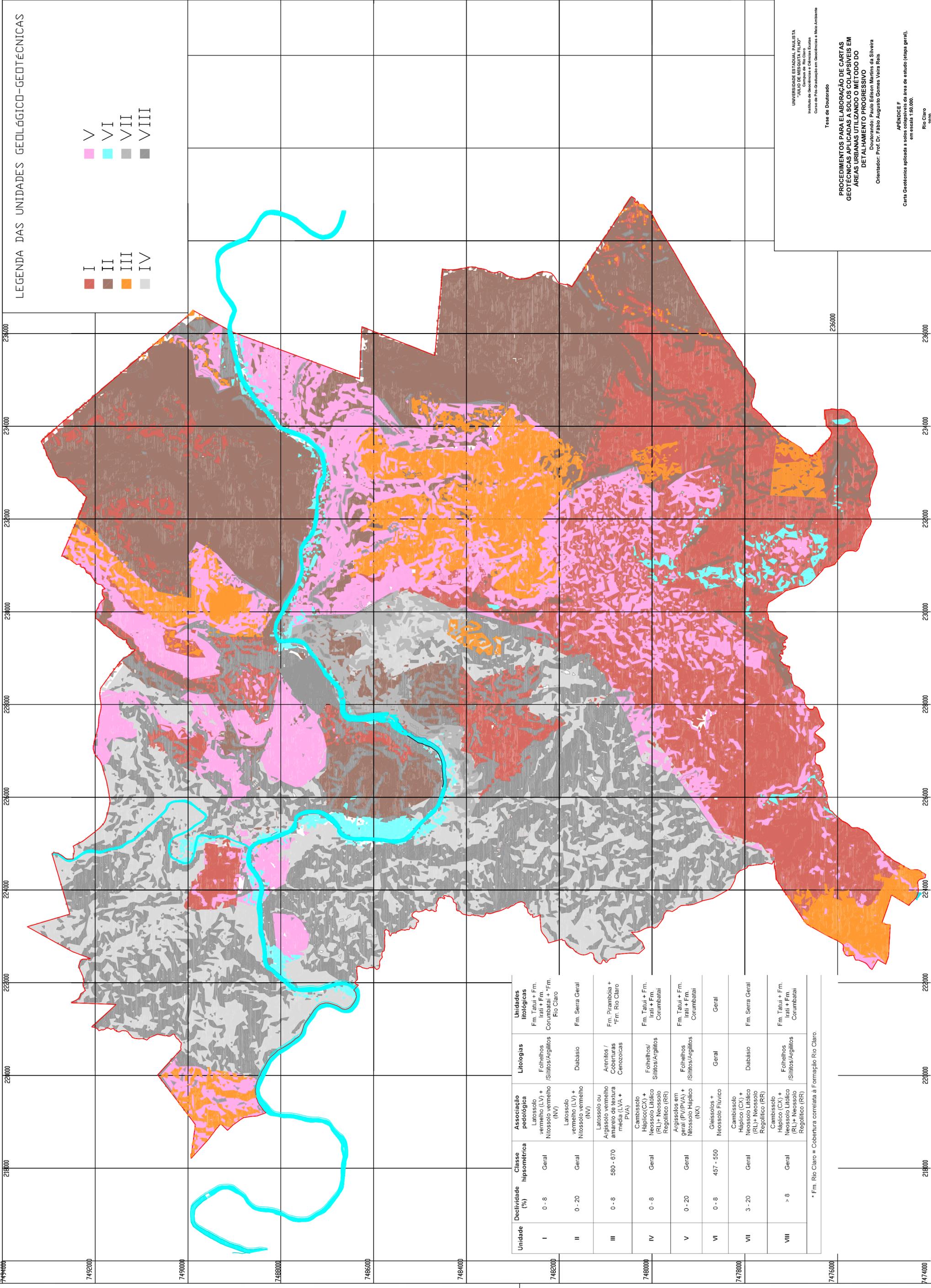
**APÊNDICE E – Classificações geotécnicas das amostras de solo ensaiadas na etapa geral.**

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN - DIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE DIAGNÓSTICO	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		
				GRANULOMÉTRICA/ TEXTURAL *	UNIFICADA **	RODOVIÁRIA ***
P1	P1 A	0,00 - 0,55	Ap	Areia Siltosa	CL	A - 6
	P1 B	0,82 - 1,10	Bi + C	Argila Siltosa	CH	A 7-5
P2	P2 A	0,00 - 0,18	Ap	Silte Argiloso	CL	A 7-6
	P2 B	0,18 - 0,33	Bi	Silte Argiloso	A 7-6	A - 6
	P2 C	0,33 - 0,82	C	Argila Siltosa	MH	A 7 - 6
P3	P3 B1	0,20 - 0,60	Bw1	Argila Siltosa	ML	A - 6
	P3 B2	0,60 - 1,30	Bw2	Argila Siltosa	ML	A 7 - 5
P4	P4 A	0,00 - 0,16	Ap	Argila Arenosa	CL	A 7 - 6
	P4 C1	0,16 - 0,95	C1	Argila Arenosa	CL	A - 6
	P4 C2	0,95 - 1,45	C2	Areia Argilosa	SC	A - 6
	P4 C3	1,45 - 1,70	C3	Argila Arenosa	SC	A 7 - 6
	P4 C4	1,70 - 2,00	C4	Areia Argilosa	SC	A 2 - 4
P5	P5 B	0,00 - 2,00	Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6
P6	P6 A	0,00 - 0,40	Ap	Silte Arenoso	SM	A 2-4
	P6 B	0,40 - 0,60	Bt	Silte Argiloso	SM	A 2 - 6
	P6 C	0,60 - 1,00	C	Argila Siltosa	MH	A 7 - 5
P7	P7 A	0,00 - 1,50	Ap	Argila Arenosa	ML	A 7 - 5
	P7 B	1,50 - 5,00	Bn	Silte Argiloso	ML	A 7 - 5
	P7 C	> 5,00	C	Areia Siltosa	ML	A - 6
P8	P8 B	0,00 - 1,37	Bn	Argila Siltosa	ML	A 7 - 5
P9	P9 C	2,00 - 4,00	C + R	Argila Siltosa	MH	A 7 - 5
P10	P10 B	0,00 - 1,50	BW1	Argila Arenosa	CL	A - 6
	P10 C	1,50 - 2,80	Bt+C	Argila Siltosa	CH	A 7 - 5
P11	P11 C	0,2 - 3,00	C-R	Argila Siltosa	CL	A - 6
P12	P12 C	0,00 - 2,00	C	Argila Siltosa com fragmentos silicosos	MH	A 7 - 5
P14	P14 B	0,00 - 1,20	Bn+C	Argila Arenosa	CL	A 7 - 6
P15	P15 A	0,00-0,60	A + Bi+R	Argila Siltosa com fragmentos silicosos	CL	A 7 - 6
P16	P16 A	0,15-0,50	A + B	Areia argilosa	SC	A - 4
	P16 B1	0,50-0,90	Bw1	Areia argilosa	CL	A - 4
	P16 B2	0,90-2,15	Bw2	Areia argilosa	CL	A - 6
P17	P17 Ap	0,00-0,10	Ap	Argila Arenosa	CL	A - 6
	P17 A+B	0,10-0,30	A + B	Argila Siltosa	CH	A 7 - 6
	P17 Bt	0,30-0,60	Bt	Argila Arenosa	MH	A 7 - 5
	P17 (B+C)+C	0,60-1,50	(B+C)+C	Argila Siltosa	MH	A 7 - 5
P22	P22 B	2,00-2,60	Bw	Areia Argilosa	SC	A - 4
P23	P23 Bt	0,25 - 0,70	Bt	Argila Siltosa com cascalho	CL	A 7 - 6
P25	P25 B	0,40-1,00	(A+B)+Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6
P30	P30 B	1,00 - 3,00	Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6

PONTO MAPEADO	AMOSTRA	PROFUN - DIDADE (m)	TIPO DE HORIZONTE DIAGNÓSTICO	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		
				TEXTURAL *	UNIFICADA **	RODOVIÁRIA ***
P34	P34 B	0,20-1,20	Bt	Areia Argilosa	SM	A 2 - 4
P36	P36 A	0,20-0,60	A+B	Areia Siltosa	CL	A - 4
	P36 B	0,60-1,50	Bt	Argila Silto-Arenosa	CL	A 7 - 6
P38	P38 B	0,00-1,50	Bn	Argila Arenosa	ML	A - 6
P49	P49 B	0,40-2,30	Bn	Argila Arenosa	CL	A - 6
P52	P52 B	0,30-0,75	Bw	Areia Argilosa	SC	A - 4
P54	P54 B	0,40-0,75	Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6
P55	P55 Bt	0,25 - 0,75	Bt	Silte Argiloso	CH	A 7 - 6
P56	P56 Bw	0,30 - 2,00	Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6
P59	P59 C	0,40-1,20	C	Argila Siltosa	CH	A 7 - 5
P60	P60 B1	0,20-0,80	BW1	Areia Argilosa	CL	A - 4
	P60 B2	0,80-2,00	BW2	Areia Argilosa	CL	A - 4
P63	P63 B	0,40-1,60	BW	Argila Arenosa	CL	A - 6
P65	P65 B	1,20-1,50	Bw2	Areia Argilosa	SM	A 2 - 4
P66	P66 Bw	2,00 - 4,00	Bw	Argila Arenosa	ML	A - 6
P80	P80 B	3,50-5,00	Bw	Argila Arenosa	CL	A - 6
P81	P81 B	1,00-2,00	Bw	Areia Argilosa	SC	A - 4
P87	P87 B	0,70-2,00	Bw	Argila Siltosa	ML	A 7 - 5
P89	P89 Ap	0,00 - 0,30	Ap	Argila Arenosa	CL	A - 6
	P89 Bt	0,30 - 1,20	Bt	Argila Siltosa	CH	A 7 - 6
	P89 C	1,20 - 1,70	C	Argila Siltosa	ML	A 7 - 5
P93	P93 Ap	0,00 - 0,40	Ap	Areia Silto Argilosa	SC	A 2 - 4
	P93 A+B	0,40 - 0,70	A+B	Areia Argilosa	SC	A - 4
	P93 Bt	0,70 - 2,00	Bt	Areia Argilosa	SC	A 2 - 6
P95	P95 H	0,00 - 0,20	H	Silte Argiloso	CL	A - 6
	P95 Ag	0,20 - 0,40	Ag	Silte Argiloso	MH	A 7 - 5
P104	P104	0,90 - 2,00	Bw	Areia Argilosa	SC	A - 4

Bw = B latossólico                      \* ABNT (1995)  
 Bi = B insipiente                        \*\* PINTO (2000)  
 Bt = B textural                            \*\*\* PINTO(2000)  
 Bn = B nítico

**APÊNDICE F . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da área de estudo (etapa geral), em escala 1:50.000.**



Unidade	Declividade (%)	Classe hipsométrica	Associação pedológica	Litologias	Unidades litológicas
I	0 - 8	Geral	Latosolo vermelho (LV) + Nitossolo vermelho (NV)	Folhelhos / Siltitos/Argiltos	Fm. Tatui + Fm. Irati + Fm. Corumbatai + *Fm. Rio Claro
II	0 - 20	Geral	Latosolo vermelho (LV) + Nitossolo vermelho (NV)	Diabaásio	Fm. Serra Geral
III	0 - 8	580 - 670	Argissolo vermelho anarelo de textura média (LVA + PVA)	Arenitos / Coberturas Cenozoicas	Fm. Pirambóia + *Fm. Rio Claro
IV	0 - 8	Geral	Cambissolo Háptico(CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Folhelhos/ Siltitos/Argiltos	Fm. Tatui + Fm. Irati + Fm. Corumbatai
V	0 - 20	Geral	Argissolos em geral (PV/PVA) + Nitossolo Háptico (NX)	Folhelhos /Siltitos/Argiltos	Fm. Tatui + Fm. Irati + Fm. Corumbatai
VI	0 - 8	457 - 550	Gleissolos + Neossolo Flúvico	Geral	Geral
VII	3 - 20	Geral	Cambissolo Háptico (CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Diabaásio	Fm. Serra Geral
VIII	> 8	Geral	Cambissolo Háptico (CX) + Neossolo Litólico (RL)+ Neossolo Regolítico (RR)	Folhelhos /Siltitos/Argiltos	Fm. Tatui + Fm. Irati + Fm. Corumbatai

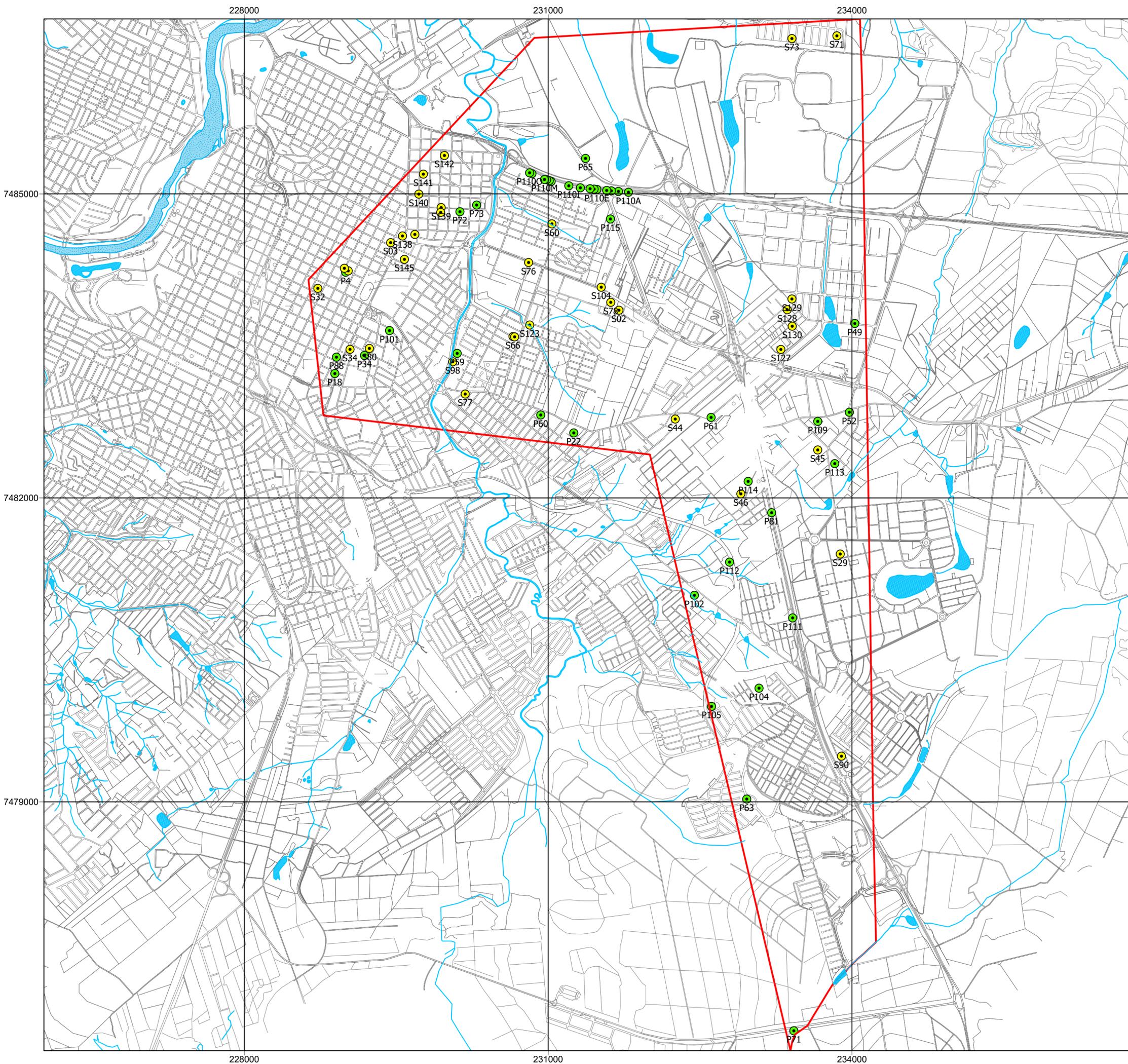
\* Fm. Rio Claro = Cobertura correlata à Formação Rio Claro.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente  
 Tese de Doutorado

PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS  
 GEOTÉCNICAS APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM  
 ÁREAS URBANAS UTILIZANDO O MÉTODO DO  
 DETALHAMENTO PROGRESSIVO  
 Doutorando: Paulo Edilson Martins da Silveira  
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

APÊNDICE F  
 Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da área de estudo (etapa geral),  
 em escala 1:50.000.  
 Rio Claro  
 2020

**APÊNDICE G . Mapa de localização dos pontos visitados em levantamento de campo e localização dos furos de sondagem geotécnica na zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.**




 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

Tese de Doutorado

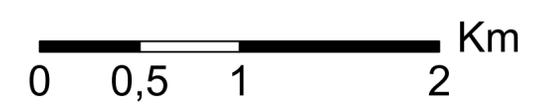
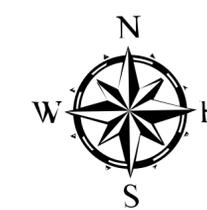
**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS  
 GEOTÉCNICAS APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS  
 URBANAS UTILIZANDO O MÉTODO DE DETALHAMENTO  
 PROGRESSIVO**

Doutorando: Paulo Edison Martins da Silveira  
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Veira Reis

---

APÊNDICE G  
 MAPA DE LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS DE MAPEAMENTO E DE FUROS DE  
 SONDAGEM GEOTÉCNICA DA ZONA ALVO (ETAPA INTERMEDIÁRIA)  
 Escala 1:25.000

Rio Claro  
 2020

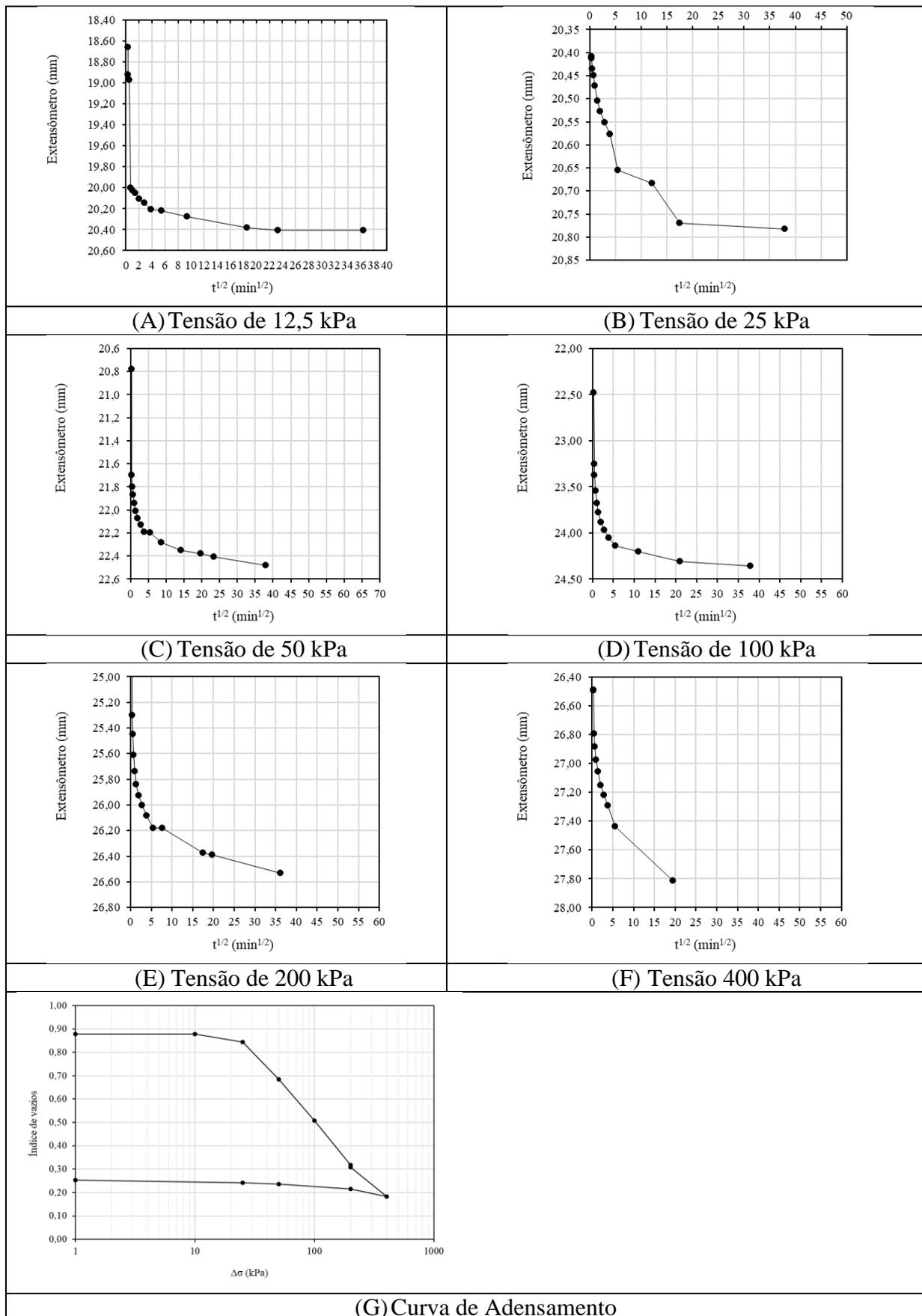


- Legenda**
- ▭ Área Alvo
  - Córregos
  - ▭ Rios Piracicaba e Corumbataí
  - Pontos no Campo
  - Pontos de Sondagem
  - Ruas

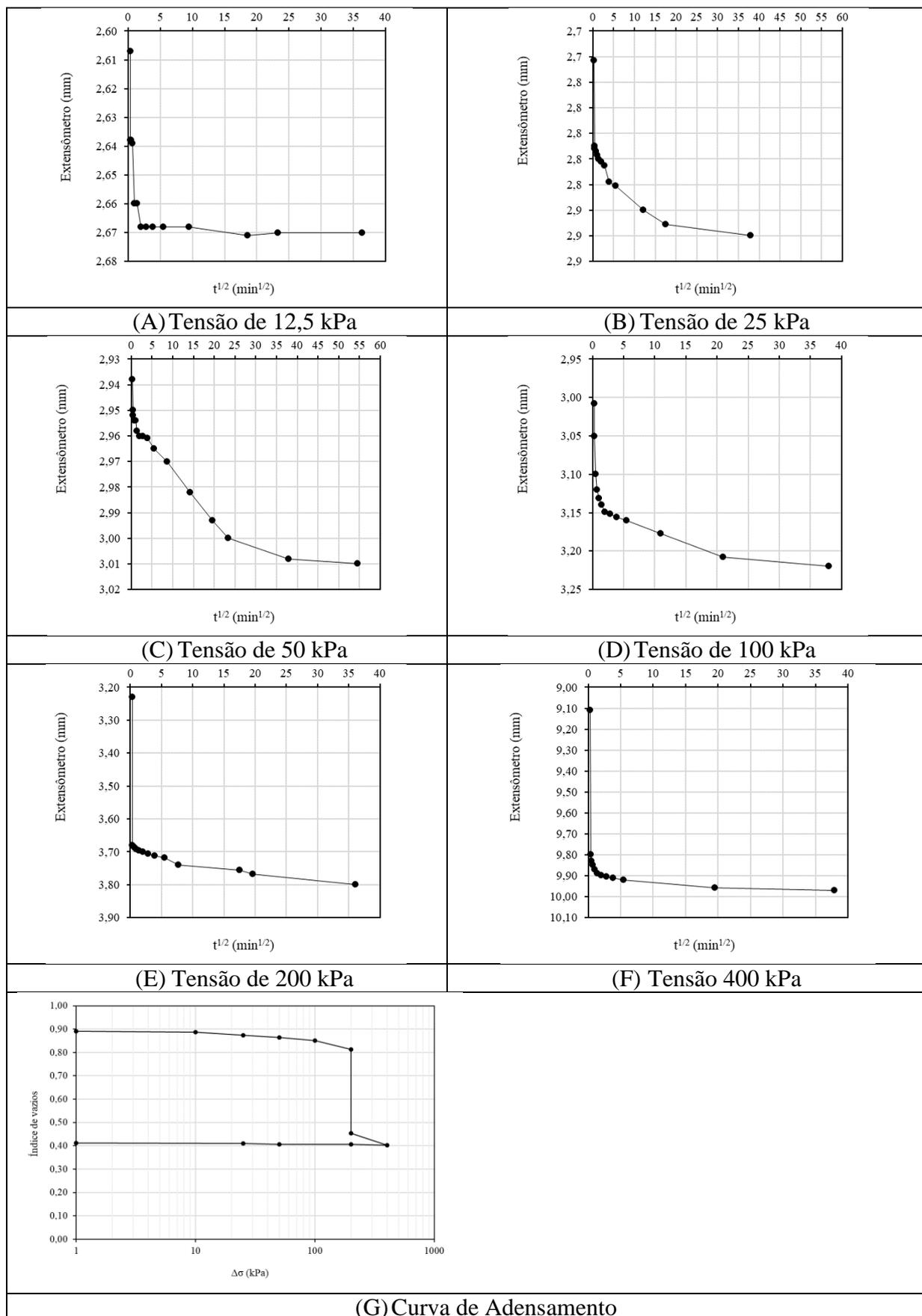
**APÊNDICE H . Resultados obtidos nos ensaios edométricos da etapa de detalhe.**

<b>AMOSTRA</b>	<b>ESTÁGIO (TENSÃO) kPa</b>	<b>CV (cm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>CC</b>	<b>IC (%)</b>
P65 (0,00 - 1,00)	10	0,021954		0,76
	25	0,000550		
	50	0,002448		
	100	0,003383		
	200	0,001764		
	400	0,003191		
P65 (1,00 - 2,00)	1	0,000525		19,89
	9	0,010289		
	26	0,013980		
	56	0,045761		
	101	0,017948		
	200	0,015643		
	440	0,043347		
P65 ( 2,00 - 3,00)	12,5	0,000756		4,17
	25	0,007055		
	50	0,003642		
	100	0,014050		
	200	0,009765		
	200 + Inundação	0,001895		
	400	0,006891		
P65 (3,00 - 4,00)	1	0,000625		0,00
	9	0,033233		
	26	0,029120		
	56	1,416531		
	101	0,040200		
	200	0,006363		
	440	0,017521		
P65 (4,00 - 5,00)	1	0,054558		7,81
	9	0,008392		
	26	0,003741		
	56	0,003878		
	101	0,008962		
	200	0,006606		
	440	0,004200		

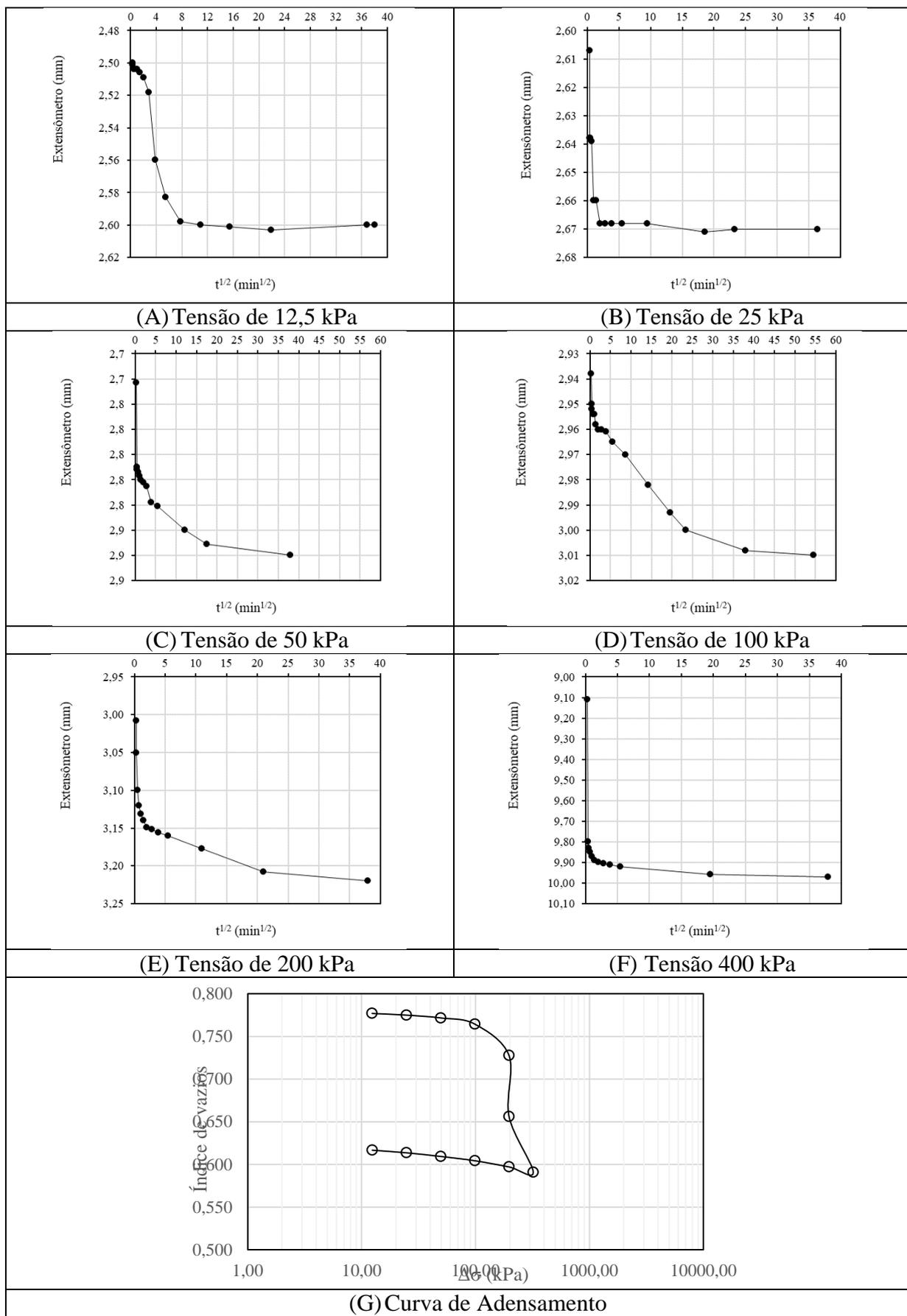
AMOSTRA	ESTÁGIO (TENSÃO) kPa	CV (cm <sup>2</sup> /s)	CC	IC (%)
P65 (5,00 - 6,00 )	9	0,222079		14,20
	26	0,540783		
	56	0,539757		
	101	1,229549		
	200	0,074686		
	440	0,198345		
P65 (6,00 - 7,00)	9	0,086523		8,11
	26	0,012820		
	56	0,085659		
	101	0,188714		
	200	0,182006		
	440	0,178629		
P65 (7,00 - 8,00)	10	4,124998		6,58
	25	0,224707		
	50	0,087117		
	100	0,088499		
	200	0,200052		
	400	0,203888		
P65 (8,00 - 9,00)	10	0,021504		0,66
	25	0,124864		
	50	0,013876		
	100	0,239158		
	200	0,224818		
	400	0,086105		
<p><b>CV</b> : Coeficiente de adensamento  <b>CC</b>: Coeficiene de compressão  <b>IC</b>: Índice de Colapsividade</p>				



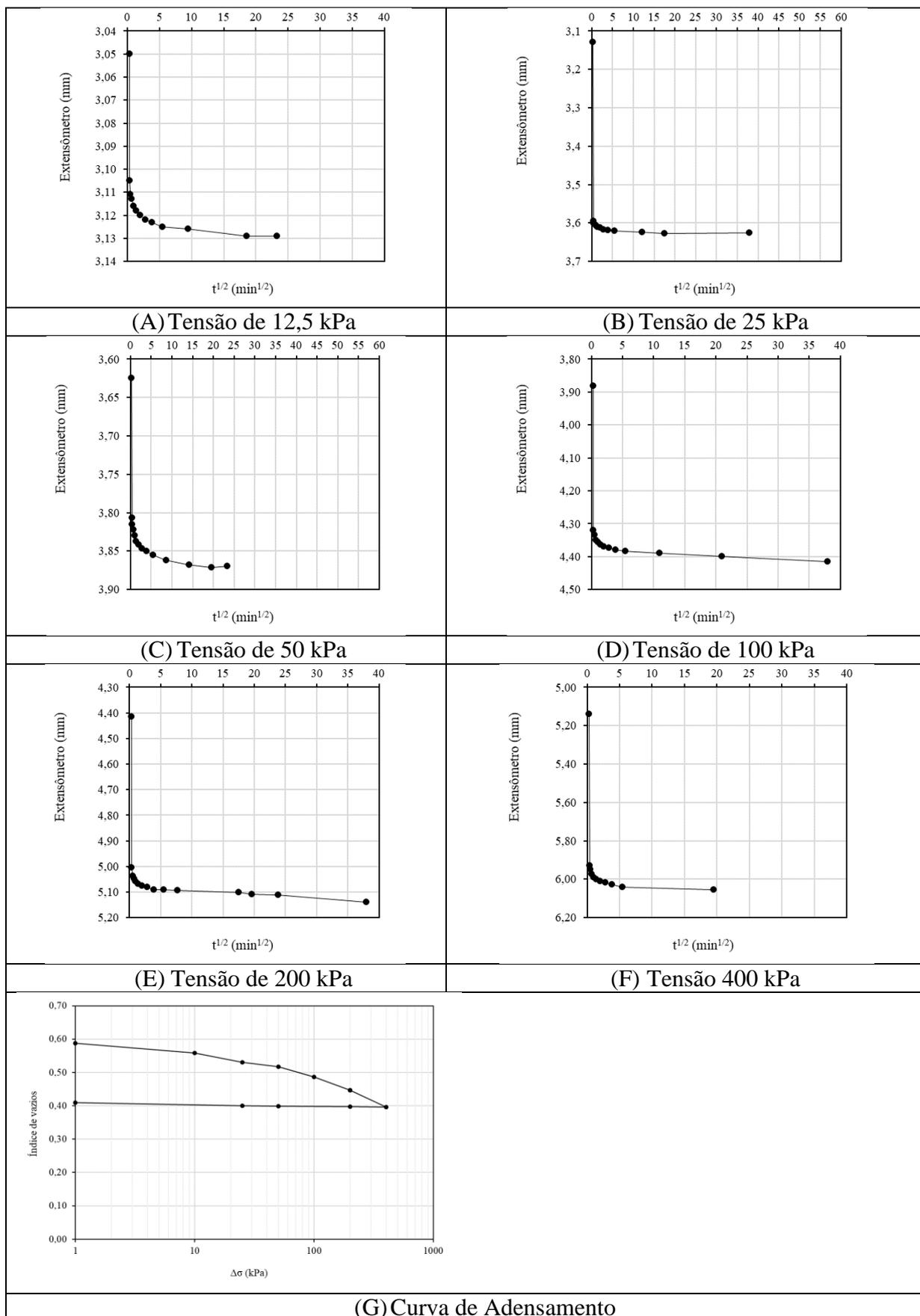
Gráficos de adensamento da amostra P65 (0,00 a 1,00 m).



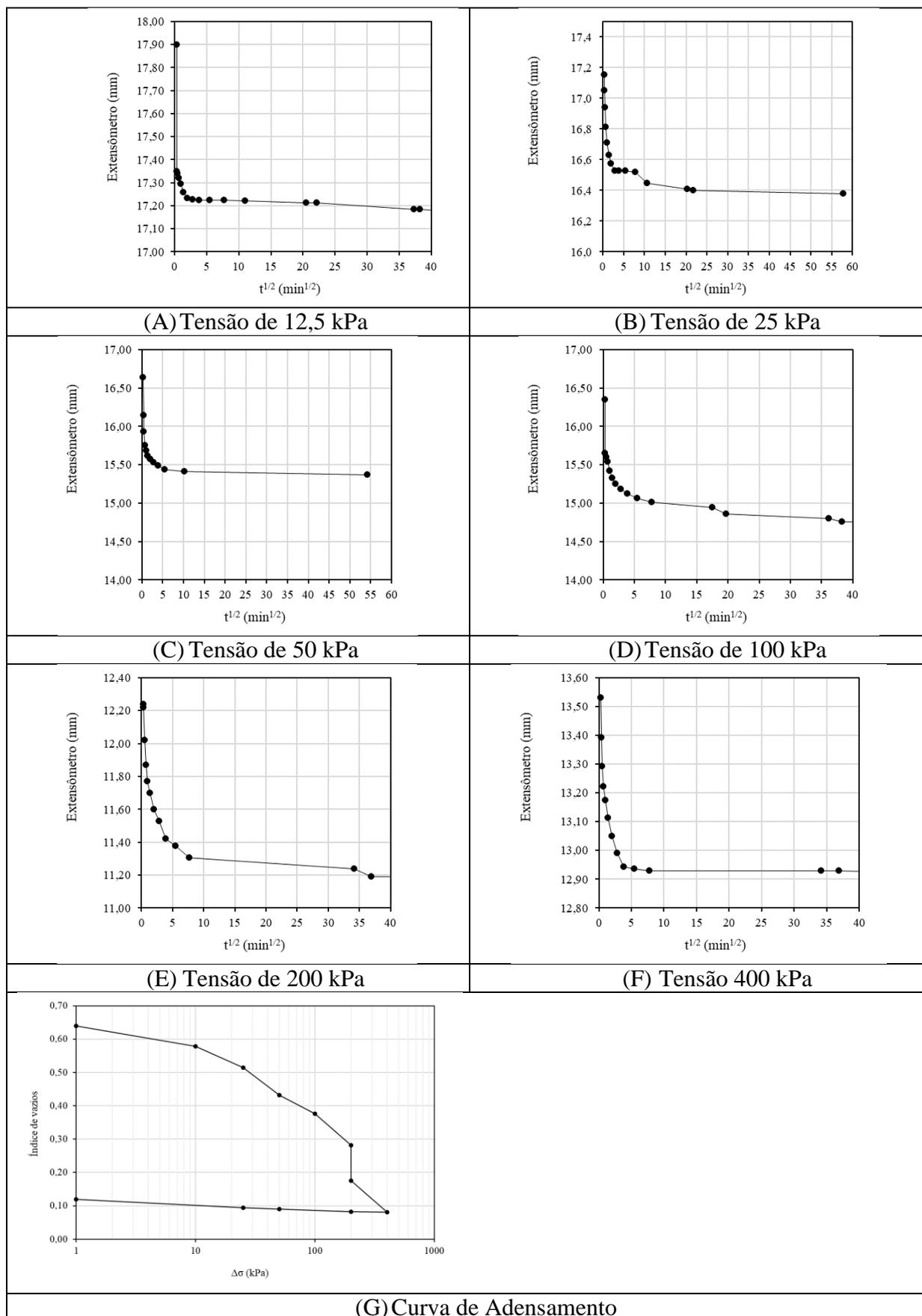
Gráficos de adensamento da amostra P65 (1,00 a 2,00 m).



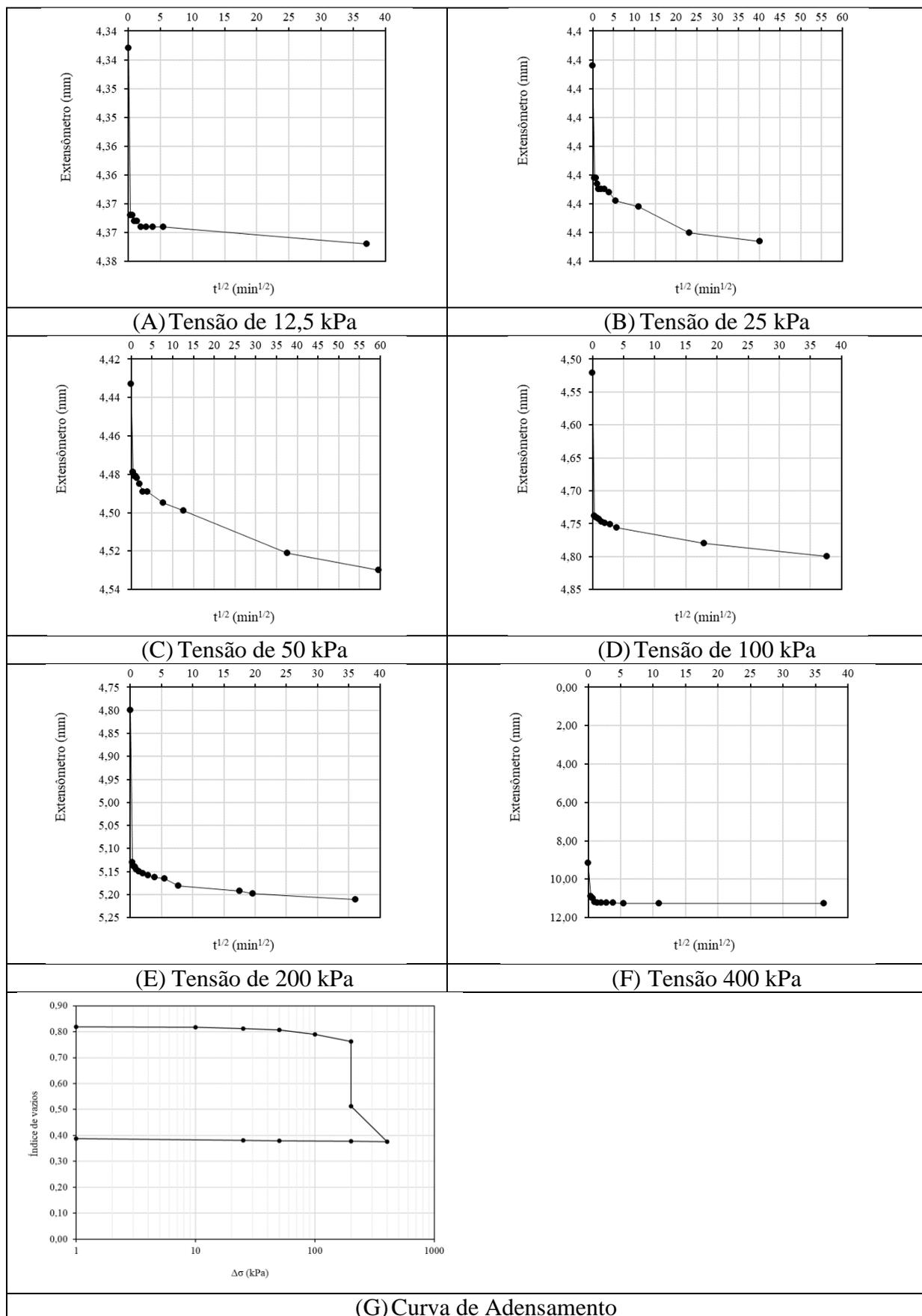
Gráficos de adensamento da amostra P65 (2,00 a 3,00 m).



**Gráficos de adensamento da amostra P65 (3,00 a 4,00 m).**

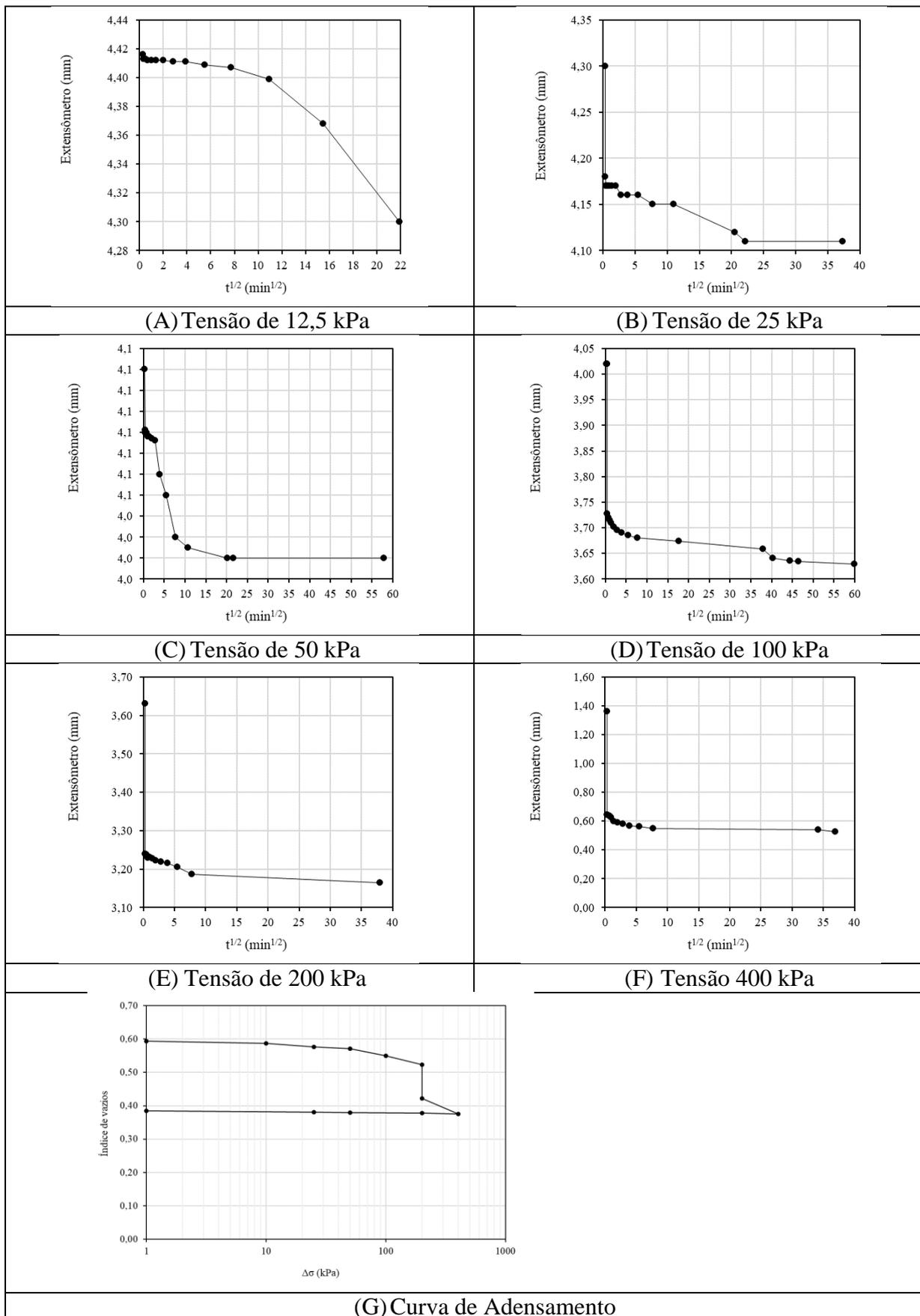


Gráficos de adensamento da amostra P65 (4,00 a 5,00 m).

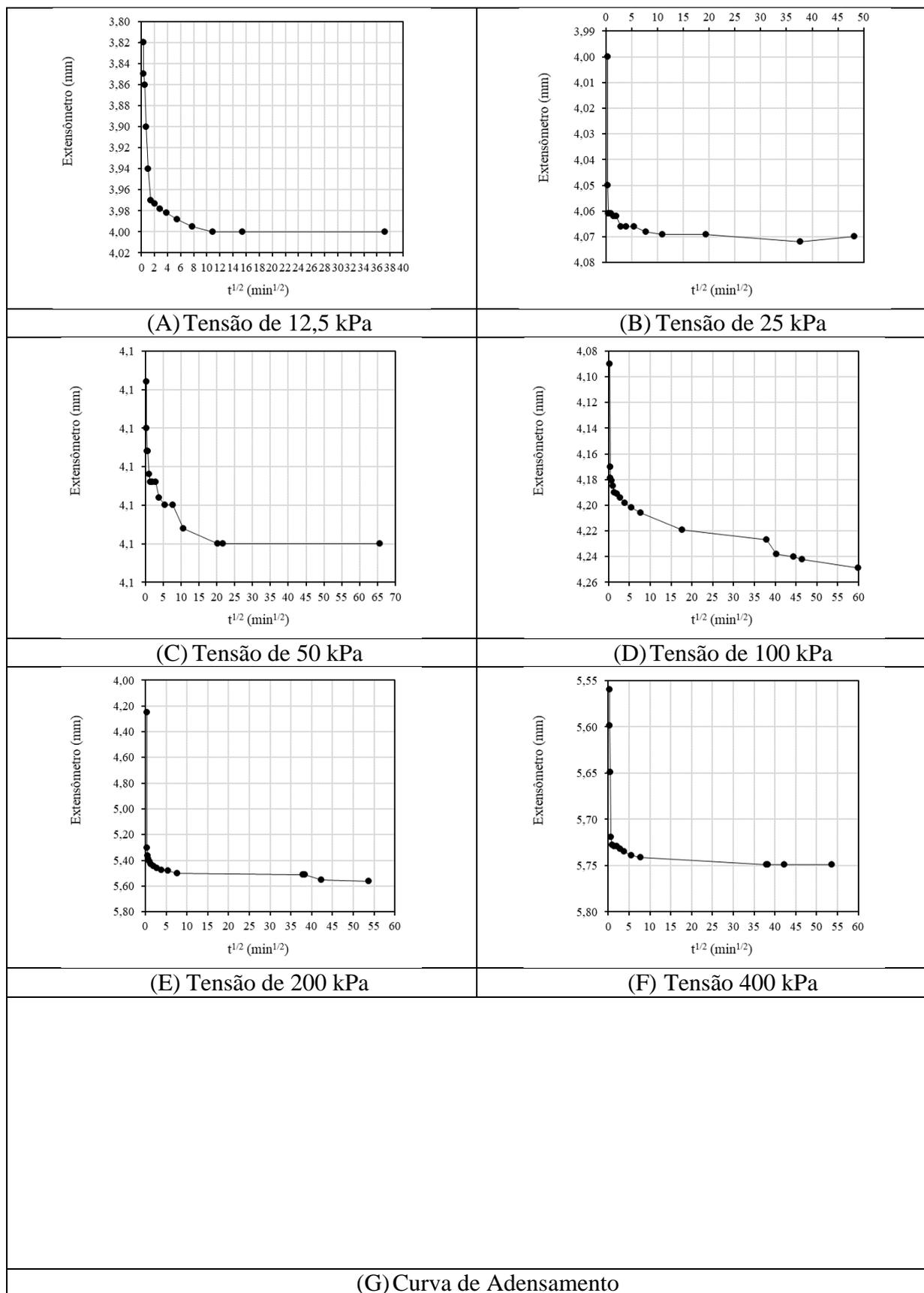


Gráficos de adensamento da amostra P65 (5,00 a 6,00 m).



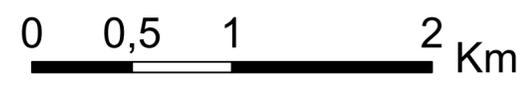
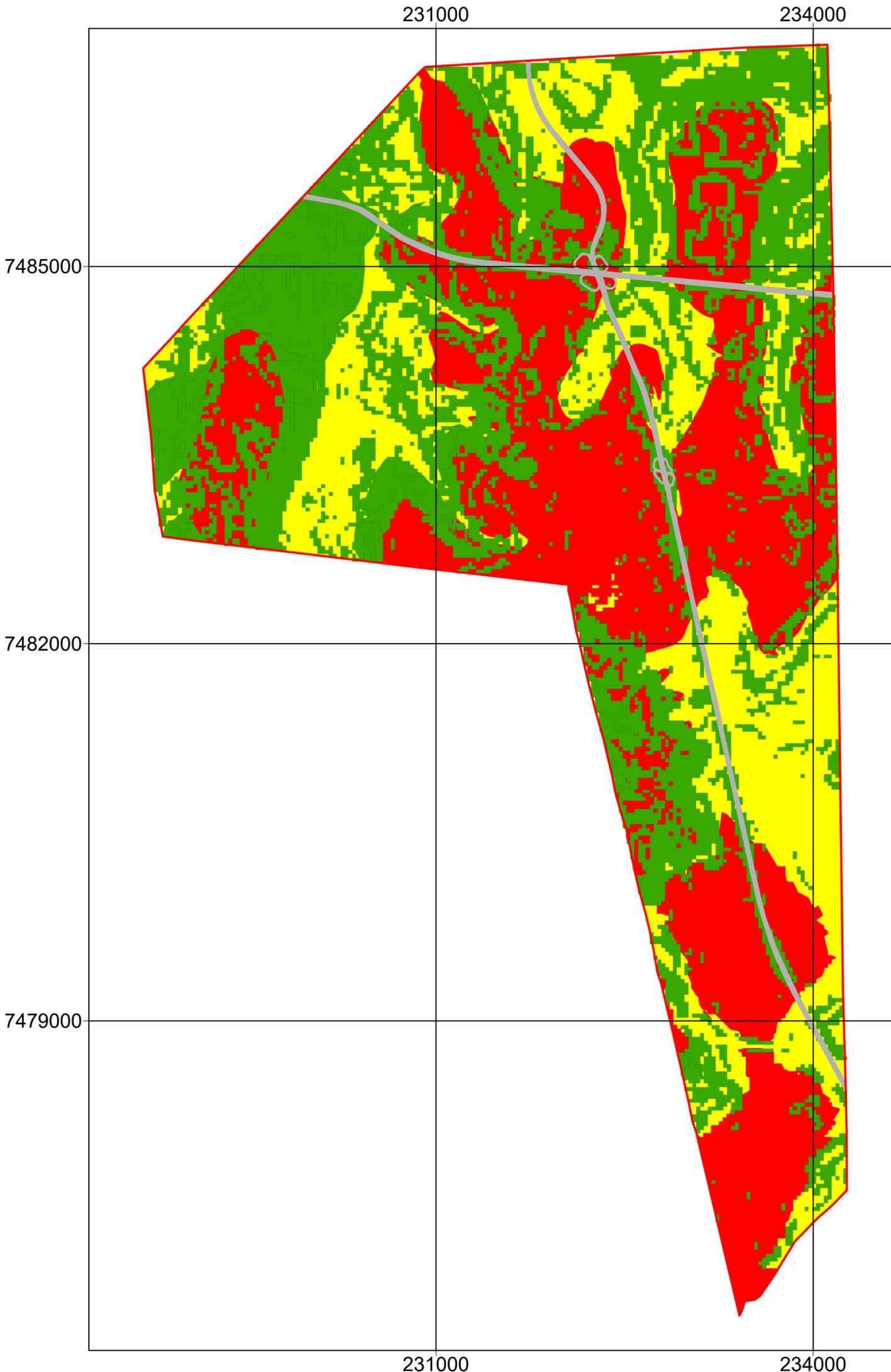


Gráficos de adensamento da amostra P65 (7,00 a 8,00 m).

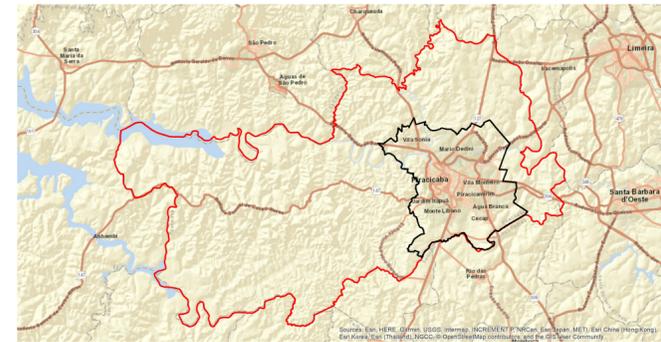


**Gráficos de adensamento da amostra P65 (8,00 a 9,00 m).**

**APÊNDICE I . Carta Geotécnica aplicada a solos colapsíveis da zona alvo (etapa intermediária), em escala 1:25.000.**



- Legenda**
- Área Alvo
  - Rodovias
  - SP 304
  - SP 308
  - Classe A
  - Classe B
  - Classe C



Classe de suscetibilidade ao colapso do solo	Grau de suscetibilidade (determinado a partir de ensaios de caracterização e compactação)	Classe de declividade	Classe hipsométrica	Associação pedológica/Simbologia	Litologia/ Unidades litológicas	Grau de suscetibilidade (baseado em ensaios edométricos)	Classificações Geotécnicas			
							Granulométrica	Textural	Unificada	Rodoviária
A	10 a 14	0 a 8 %	575 a 620;	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	Coberturas cenozóicas (FM Rio Claro)	Severo	Areia argilosa e areia arenosa	Média Argilosa e argilosa	CL	A 2-4
	(Suscetível a Altamente Suscetível)			SM					A 4	
			>640						SC	A 6
B	09 a 12	0 a 8 %	<575;	Latossolo Vermelho (LV)	Siltitos, Argilitos, Folhelhos (FM Irati e FM Corumbataí); Diabásio (FM Serra Geral); Coberturas Cenozóicas (FM Rio Claro)	-	Argilosa e muito argilosa	Idem B	CL	A 6
	(Suscetível)			ML					A 4	
			620 a 640							
C	02 a 08	> 8 %	Geral	Argissolos diversos (PV);		-	Argila Siltosa; Argila arenosa; Silte argiloso e areia muito argilosa	Idem B	CL	A 7-6
	(Muito pouco suscetível a pouco suscetível)								ML	A 7-5
									MH	A 6
									CH	



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JULIO DE MESQUITA FILHO"**  
 Campus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

**Tese de Doutorado**

**PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS APLICADAS A SOLOS COLAPSÍVEIS EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO O MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

Doutorando: Paulo Edison Martins da Silveira  
 Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Veira Reis

---

**APÊNDICE I**  
**CARTA GEOTÉCNICA APLICADA A SOLOS COLAPSÍVEIS DA ZONA ALVO**  
 (ETAPA INTERMEDIÁRIA)  
 Escala 1:25.000

Rio Claro  
 2020