



## SOLOS COLAPSÍVEIS: ESTUDOS DE TRÊS CASOS POR MEIO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA-SP

GUILHERME HENRIQUE SASSO BRIZOLARI<sup>1</sup>  
IVO EDUARDO MORONI<sup>2</sup>  
FABIANA FLORIAN<sup>3</sup>

**Resumo:** Este trabalho objetiva comparar a teoria sobre os solos colapsíveis com amostras obtidas em sondagens a percussão de três obras, situadas no município de Araraquara-SP. Foi realizada pesquisa bibliográfica sobre solos colapsíveis e um estudo de caso por meio de sondagem à percussão. Nas patologias das edificações das obras foi possível constatar recalques diferenciais nas fundações por se situarem em solos colapsíveis. Também foram obtidos valores baixos do SPT - *Standard Penetration Test* (Sondagem a percussão) concluiu-se que foi possível verificar a existência de solos colapsíveis, ou seja, deve-se precaver e até mesmo evitar fundações diretas apoiadas nesse tipo de solo, já as fundações profundas são mais eficientes, pois atingem profundidades maiores e valores de SPT mais altos.

**Palavras-chave:** Amostras. Solos colapsíveis. Sondagem a percussão. Patologias. Recalques.

## COLLAPSIBLE SOILS: STUDIES OF THREE CASES BY MEANS OF SURFACE PERCUSSION

**Abstract:** *This work aims to compare the theory on collapsible soils with samples obtained in drilling the percussion of three works, located in the city of Araraquara-SP. A bibliographical research on collapsible soils and a case study was carried out. In the pathologies presented in the construction of the works, it was possible to verify differential stresses in the foundations because they are located in collapsible soils and based on the low values of the SPT - Standard Penetration Test, it was concluded that it was possible to verify the existence of collapsible soils, that is to say, one must guard against and even avoid direct foundations supported on this type of soil, since the deep foundations are more efficient as they reach higher depths and higher standard SPT - Penetration Test values.*

**Key-words:** Samples. Collapsible soils. Percussion sounding. Pathologies. Repression.

<sup>1</sup>Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- SP. Araraquara-SP. UNIARA. E-mail: [brizolari@hotmail.com](mailto:brizolari@hotmail.com)

<sup>2</sup> Orientador. Docente Curso de Engenharia Civil da UNIARA. Mestre em materiais. University of Florida. Gainesville. Florida. E-mail: [ivo.e.moroni@gmail.com](mailto:ivo.e.moroni@gmail.com)

<sup>3</sup> Coorientadora. Docente do Curso de Engenharia Civil da UNIARA. Doutora em Alimentos e Nutrição da FCFAR/ Araraquara-SP. E-mail: [fflorian@uniara.com.br](mailto:fflorian@uniara.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Entre as diversas áreas de estudo na engenharia civil, o comportamento do solo não é uma ciência totalmente exata, pois o mesmo pode variar de comportamento em um determinado período de tempo mais ou menos prolongado.

O solo cobre o substrato rochoso e é constituído pela desagregação e decomposição das rochas, por meio do intemperismo físico e químico (BUENO; VILAR, 1998).

Para o engenheiro civil, o estudo do solo é de extrema importância, pois nas obras de engenharia, cabe a ele absorver as cargas aplicadas na sua superfície (BUENO; VILAR, 1998).

No Brasil e como em outros países, há muitos casos de patologias (fissuras, infiltrações e deformações) e até mesmo colapso estrutural, ocasionados pela desestabilização da estrutura nas edificações, barragens, pontes, e entre outros tipos de obras, ocorridos por elas se localizarem em solos colapsíveis (AGNELLI, 1997).

Os solos colapsíveis são porosos, com alto número de vazios e baixo teor de umidade, quando inundados e submetidos a um carregamento, sofrem redução de volume (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

Segundo CINTRA; AOKI (2013), em 1995, no interior do Estado de São Paulo, a Defesa Civil anunciou danos em aproximadamente 4.000 edificações no município de Araraquara - SP, onde se registrou a precipitação de 135 mm no dia 31 de janeiro e de 660 mm em 10 dias de chuvas intensas. Havia tubulões escavados, mas ainda não concretados e constatou-se a elevação de 4 m no nível d' água.

Também em Araraquara, foram observadas em algumas construções de pequeno e médio porte com fissuras típicas de recalques diferenciais de fundações (Figura 1), geralmente estas fissuras são observadas em construções mais antigas após a época de chuva. Os recalques chegam a inviabilizar a estética e a estrutura da construção.

Figura 1 – Recalque da diferencial da fundação



Fonte: própria

A figura 1 ilustra que antes do começo da fundação, na residência vizinha já existiam fissuras ocasionadas pelo recalque da fundação. Com isso, houve um agravamento destas fissuras após ser utilizado as estacas apiloadas na obra. Esse tipo de estaca causa vibrações, como o solo colapsível não possui coesão se deforma com facilidade.

O objetivo deste estudo é comparar a teoria sobre os solos colapsíveis com o índice de resistência à penetração obtidos nos ensaios de sondagem à percussão de três obras localizadas no município de Araraquara-SP. Os ensaios foram realizados em obras

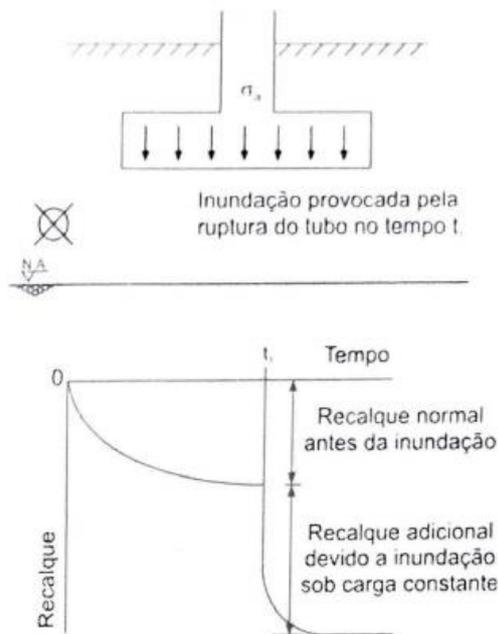
residenciais que apresentaram recalques nas fundações e necessitaram de reforço. O método de execução e o tipo de estaca utilizada para os reforços das fundações estão no trabalho de Nunes (2016). A partir dos resultados do SPT - *Standard Penetration Test* (Sondagem à percussão) foram obtidas as amostras do solo, as medidas dos níveis da água e gerado o gráfico de resistência do solo N-SPT (índice de resistência à percussão) e na sequência, foi realizada uma analogia com a fundamentação teórica.

## 2 SOLOS COLAPSÍVEIS

Em meio aos solos não saturados estão os solos colapsíveis, porosos, com alto número de vazios e baixo teor de umidade, geralmente, situados nas camadas acima do nível da água. Qualquer surgimento aleatório de uma fonte de água que inunda o solo colapsível, em quantidades suficientes e sujeito a uma determinada tensão constante (peso próprio ou sobrecarga), produz um colapso em sua estrutura. Algumas dessas eventuais inundações são: infiltrações de água de chuva, ruptura de tubulação de esgoto ou água, fissuras em reservatórios enterrados, entre outras (CINTRA; AOKI, 2013).

A figura 2 ilustra a fundação de uma edificação com a inundação de água provocada pela ruptura de um tubo em um determinado tempo sob uma tensão constante, com isso, pode-se observar que antes da inundação há um recalque normal (recalque admissível) e que devido a inundação sob carga constante acarretou em um recalque adicional.

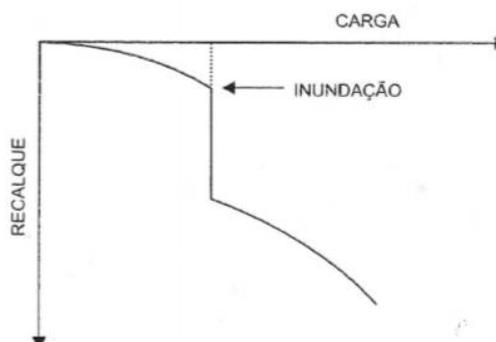
Figura 2 – Conceito básico de recalque adicional devido ao colapso da estrutura do solo.



Fonte: CINTRA; AOKI, 2009.

A figura 3 ilustra uma prova de carga com inundação do solo durante o ensaio, com isso, pode-se observar uma descontinuidade na curva tensão versus deformação ocasionada pelo colapso do solo.

Figura 3 – Ocorrência de colapso em prova de carga realizada com inundação do solo durante o ensaio



Fonte: CINTRA, 1998

Para este solo entrar em colapso, não é necessário que ele esteja totalmente saturado, o aumento do teor de umidade aproximado da saturação total, propicia esse fenômeno (CINTRA; AOKI, 2013).

O recalque pode surgir em qualquer fase da vida útil da obra. Quando o recalque admissível das fundações é ultrapassado, resulta em patologias (fissuras) nas edificações. Após um período de tempo, os recalques podem cessar ou estabilizar, dependendo das tensões características e da deformabilidade do solo (CINTRA; AOKI, 2013).

Os solos colapsíveis compactados, não sofrem propriamente um colapso com o aumento do teor de umidade, pois a estrutura não é alterada, mas se pode considerar como recalque de colapso a redução de volume que se obtém com a inundação de solos, que haviam sido compactados com umidade baixa, submetidos a níveis elevados de tensão (CINTRA, 1998).

Em condições de baixo teor de umidade, os solos colapsíveis apresentam uma resistência “aparente”, por causa da cimentação e/ ou pela pressão de sucção que se desenvolve nos seus vazios. Portanto, quanto mais seco o solo colapsível, maior a sucção, conseqüentemente, maior a capacidade de carga da fundação. Por outro lado, quanto mais úmido, menor a sucção, conseqüentemente, menor a capacidade de carga até o extremo de solo inundado ou com a sucção nula, em que a capacidade de carga atinge o seu valor mínimo (CINTRA; AOKI & ALBIERO, 2011).

Evidentemente os solos colapsíveis se desenvolvem em regiões tropicais, através da lixiviação de finos dos horizontes superficiais nas regiões onde se alternam estações relativamente secas e de precipitações intensas (VILAR et al, 1981 apud CINTRA, 1998).

No Brasil, geralmente os solos colapsíveis apresentam-se alúvios, colúvios e solos residuais que passaram por uma intensa lixiviação (FERREIRA et al, 1989 apud CINTRA, 1998).

As indicações de solos colapsíveis é dada por valores de SPT menores ou iguais a 4 golpes, granulometria aberta (ausência da fração de silte), baixo grau de saturação ( $\leq 60\%$ ) e grande porosidade ( $\geq 40\%$ ) (FERREIRA et al, 1989 apud CINTRA, 1998).

No interior de São Paulo encontra-se o sedimento cenozóico com espessura inferior a 10 metros, geralmente separado da camada subjacente por uma linha de seixos e comumente acima do nível da água, o sedimento cenozoico é pouco compacto com uma estrutura bastante porosa, ou seja, apresenta características típicas de material laterizado e colapsível (CINTRA, 1998).

### 3 FUNDAÇÕES EM SOLOS COLAPSÍVEIS

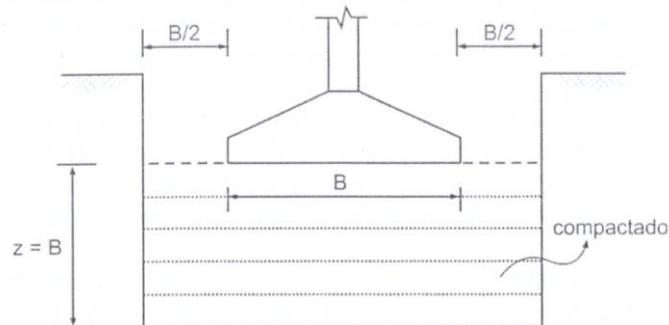
#### 3.1. Fundações Diretas

A fundação direta (sapatas, radier, tubulões, entre outras) apoiada neste solo pode se comportar satisfatoriamente por um tempo, mas inesperadamente sofrer um recalque adicional de grande proporção, por efeito das inundações (CINTRA, 1998 *apud* CINTRA; AOKI & ALBIERO, 2011).

O procedimento de melhoria do solo colapsível mais usual no Brasil é a compactação do solo até a metade do bulbo de tensões. A compactação do solo colapsível reduz significante os seus vazios e a sua compressibilidade, deixando o solo coeso e reduzindo consideravelmente o recalque de colapso, possibilitando o emprego de fundações por sapatas (CINTRA; AOKI, 2013).

O próprio solo escavado, até uma profundidade  $Z$ , contada a partir da cota de apoio da sapata e igual à largura  $B$  da sapata, é repostado em camadas compactadas, conforme a Figura 4. Até uma compactação manual, sem o controle do grau de compactação e com soquete de madeira ou de ferro, pode ser eficaz (CINTRA; AOKI, 2013, p. 32-33).

Figura 4 – Utilização de sapatas em solo colapsível compactado



Fonte: CINTRA; AOKI, 2013.

“O aumento da dimensão da cava em  $B/2$ , para cada lado, faz com que, até a profundidade  $z = B$ , a propagação de tensões ocorra somente no maciço compactado” (CINTRA; AOKI, 2013, p.33).

Economicamente e tecnicamente essa melhoria é inviável para as sapatas que tem dimensões muito grandes, pois o custo é elevado para remover uma camada muito espessa de solo para compactar (CINTRA; AOKI, 2013).

Segundo Cintra e Aoki (2013), no interior de São Paulo, as fundações por tubulões a céu aberto são abundantemente executadas nos edifícios residências, situados em solos colapsíveis, neste caso para o cálculo da tensão admissível, ele recomenda a utilização do  $N_{SPT}$  obtidos em sondagens com pré-inundação ou com perfuração por circulação de água desde o início. Assim as fundações por tubulações podem ser seguras ao colapso.

A situação mais crítica do tubulão é quando a sua base está apoiada em solo colapsível, se houver uma inundação acidental desse solo, a redução da capacidade de carga é catastrófica (CINTRA, 1998).

Como os efeitos de colapsibilidade são mais acentuados nas camadas mais superficiais (podemos observar nos ensaios a percussão através dos valores do SPT baixo), a tensão

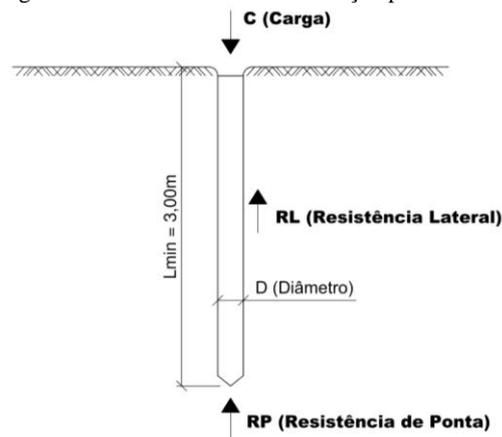
admissível para as fundações diretas pode ser muito baixa e até mesmo incompatível dependendo da situação (CINTRA; AOKI, 2013).

As fundações diretas podem ser apoiadas em solos colapsíveis, desde que, sejam feitos estudos para analisar as tensões a serem aplicadas pelas fundações com a possibilidade de ocorrer encharcamento do solo (CINTRA; AOKI, 2013; ABNT NBR 6122,2010).

### 3.2. Fundações Profundas

Segundo a NBR 6122/2010, é considerada fundação profunda o elemento de fundação que transmite a carga ao terreno, pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência do fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar apoiado em profundidade superior ao dobro da sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,00 metros, conforme a Figura 5. Nesse tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões. Existem vários tipos de estacas, tais como: estacas de concreto moldadas *in loco*, strauss, raiz, mega, apiloada, cravada, hélice contínua, entre outras (ABNT, 2010).

Figura 5 – Conceito básico de fundação profunda.



Fonte: própria

O método executivo da estaca influencia significativamente no seu comportamento perante os solos colapsíveis. As estacas de deslocamento, por exemplo, provocam uma compactação do solo ao redor do fuste e sob a ponta, originando uma redução do índice de vazios (porosidade) que conseqüentemente acarreta na redução do efeito nefasto do colapso (CINTRA, 1998).

As estacas de deslocamento utilizadas no Brasil são conhecidas como estacas apiloadas. Sua eficiência baseia-se no seu comprimento e na espessura da camada colapsível, ou seja, depende do nível de embutimento na camada inferior do solo. Com a inundação do terreno, as estacas apiloadas sofrem uma redução de 20 a 30% na capacidade de carga, portanto o processo de apiloamento é eficiente para impedir a ocorrência do colapso na carga admissível, mas não é suficiente para eliminar completamente o efeito da colapsibilidade (CINTRA, 1998).

As estacas escavadas a seco, podem sofrer colapsos de grande magnitude, simultaneamente com uma redução da capacidade de carga superior a 50%, na condição de estacas flutuantes (estaca apoiada no estrato colapsível). Para um bom desempenho desse tipo de estaca, não basta apenas descer a ponta até o estrato não colapsível, é necessário embutir uma parte do fuste no estrato, pois nesse tipo de estaca a resistência de ponta é baixa, portanto

a parcela de resistência é impulsionada por atrito lateral no estrato não colapsível que poderá contrapor esforços aplicados, majorados pelo atrito negativo que se desenvolve na camada superior, quando inundada (CINTRA, 1998).

Segundo CINTRA (1998), a estaca mega pode ser eficiente em solos colapsíveis, desde que se adicione água durante a prensagem dos elementos, com isso, obtém-se uma estaca mais longa e segura ao colapso.

Assim como os outros tipos de fundação, principalmente as estacas não devem ter base apoiada no interior da camada colapsível (CINTRA, 1998).

#### **4 ESTUDO DE CASO POR MEIO DE SONDAGEM À PERCUSSÃO S.P.T. NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA-SP**

Foi realizado um estudo por meio de sondagem à percussão em três diferentes obras situadas no município de Araraquara. As obras apresentaram fissuras decorrentes de recalques nas fundações. Nessas obras foram aplicadas estacas do tipo mega, todo o estudo sobre a execução desse tipo de estaca está contido no trabalho de Nunes (2016). Este estudo está focado na análise dos resultados do N-SPT, após a realização da investigação pela empresa Pavisolo Geotecnia e Pavimentação localizada no município de Araraquara-SP desde 1990. A investigação foi realizada através de ensaios de sondagens à percussão (S.P.T.), coletas de amostras, medidas do nível da água e gráficos de resistência de N-SPT (índice de resistência à penetração) para verificar a resistência do solo (capacidade de carga) e a existência do solo colapsível. Os ensaios à percussão estão apresentados nas Figuras 6,7,8,9,10,11 e 12, realizados conforme a NBR 6484/2001.

Nos relatórios de sondagens (Figuras 6,7,8,9,10,11 e 12) de cada furo, possuem cota do nível da água, índice de resistência à penetração com gráfico representativo, profundidade das camadas de solo, quantidade de amostras, classificação do solo, data de execução da sondagem, tipo de obra e método de cravação.

As figuras 6 e 7 apresentam os resultados de sondagem do primeiro e segundo furo respectivamente, da primeira obra. Observa-se que nos dois furos, de acordo com o N-SPT baixo ( $\leq 4$  golpes) na profundidade de até três metros encontra-se solos colapsíveis e a espessura da camada do sedimento coluvionar cenozóico no primeiro furo é de treze metros e no segundo furo é de dez metros.

As figuras 8, 9 e 10 apresentam os resultados de sondagem do primeiro, segundo e terceiro furo respectivamente, da segunda obra. Observa-se que no primeiro furo, de acordo com o N-SPT baixo ( $\leq 4$  golpes) na profundidade de até seis metros encontra-se solos colapsíveis e a espessura da camada do sedimento coluvionar cenozóico é de treze metros, no segundo furo o solo colapsível é encontrado em uma profundidade de um metro e a espessura da camada do sedimento coluvionar cenozóico é de quatorze metros, já o terceiro furo apresenta solos colapsíveis em uma profundidade de até três metros e a espessura da camada do sedimento coluvionar cenozóico é de doze metros.

As figuras 11 e 12 apresentam os resultados de sondagem do primeiro e segundo furo, respectivamente, da terceira obra. Observa-se que no primeiro furo e no segundo furo, de acordo com o N-SPT baixo ( $\leq 4$  golpes) na profundidade de até três metros encontra-se solos colapsíveis e a espessura da camada do sedimento coluvionar cenozóico no primeiro furo é de quinze metros, já no segundo furo, é de nove metros.

Com isso, observa-se a ineficiência da fundação direta nos solos ensaiados, é importante ressaltar que a camada do sedimento cenozoico é pouco compacta com uma

estrutura bastante porosa, ou seja, apresenta características típicas de material laterizado e colapsível.

Figura 6 – Resultado do primeiro furo da sondagem à percussão da primeira obra.

IVO EDUARDO MORONI										Relatório de Sondagem N° 1477		
										Cliente: Obra: RESIDENCIA TERREA Local: ARARAQUARA		
Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Índice de SPT Iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Furo SP 01 Cota 103,00			
	TC								SPT - Standart Penetration Test Camadas - Classificação dos solos			
									0	10	20	30
		98			1	2						
					2	4						
					3	4						
					4	5						
					5	8						
					6	11						
					7	10		7,00				
					8	14						
					9	13						
		93			10	12						
					11	14						
					12	13						
					13	12		13,00				
					14	20						
					15	18						
		88			16	20						
					17	21						
					18	20						
					19	18						
					20	24						
					21			20,45				
		83			22							
					23							
					24							
					25							
					26							
					27							
					28							
					29							
					30							
					31							
					32							
		73			33							
					34							
					35							
					36							
					37							
					38							
Nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução				
Inicial	13,70 m	17/03/2016	Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg		Início 16/03/2016					
Final	13,70 m	17/03/2016	Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm		término 17/03/2016					
Obs: Seguir NBR 6122/2010, Projeto de Fundações, na sequência, em especial o item 4.												
Estagiária			Eng° civil	IVO EDUARDO MORONI			16/03/2016	Folha	01			

Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2016.

Figura 7 – Resultado do segundo furo da sondagem à percussão da primeira obra.

IVO EDUARDO MORONI										Cliente: Obra: RESIDENCIA TERREA Local: ARARAQUARA					
Revestimento	Método craveção	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº 1477				
									Furo SP 02	Cota 100,00					
	TC								SPT - Standart Penetration Test		Camadas - Classificação dos solos				
		95			1	2									
					2	2									
					3	4									
					4	6									
					5	10									
					6	10									
					7	18									
					8	19									
					9	19									
		90			10	17		10,00			Areia fina pouco argilosa, fofa a compacta, marrom. Sedimento coluvionar Cenozoico.				
					11	15									
					12	19									
					13	20									
					14	20									
					15	23									
					16	32									
		85			17			16,45			Areia fina silto argilosa, medianamente compacta a compacta, marrom claro. Amostras 10 a 20 com caulinita branca. Solo transportado: Sedimentos aluvionares correlatos a formação Adamantina (Ka), Grupo Bauru, Mesozoico.				
					18										
					19										
					20										
					21										
					22										
					23										
					24										
					25										
					26										
					27										
					28										
					29										
					30										
					31										
					32										
					33										
					34										
					35										
					36										
					37										
					38										
		65													
Nível d'água		Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução									
Inicial	8,00 m	18/03/2016		Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0 kg	Início 17/03/2016							
Final	8,00 m	18/03/2016		Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0 cm	término 18/03/2016							
Obs: Seguir NBR 6122/2010, Projeto de Fundações, na sequência, em especial o item 4.															
Estagiária	Engº civil			IVO EDUARDO MORONI			17/03/2016 Folha 01								

Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2016.

Figura 8 – Resultado do primeiro furo da sondagem à percussão da segunda obra.

IVO EDUARDO MORONI										Cliente: Obra: CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL Local: ARARAQUARA - SP		
Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº 1425	
									Furo SP 01	Cota 100,00	30 cm finais	30 cm iniciais
0,0		95			0	3			SPT - Standart Penetration Test	0	10	2
		95			0	3			Areia fina pouco argilosa, fofa a pouco compacta, marrom. Sedimento Coluvionar Cenozóico. A11 com presença de pedregulhos miúdos.			
					0	2						
					0	3						
					0	4						
					0	4						
					0	7						
					0	8						
					0	7						
					0	7						
					0	6						
					0	5						
					0	8		13,00				
					0	7						
					0	10						
					0	9						
					0	16		17,45				
									Areia fina silto-argilosa, pouco compacta a medianamente compacta, marrom. Solo transportado: Sedimentos aluvionares correlatos a formação adamantina (ka), Grupo Bauru, Bacia Paraná, mesozóico. A13 a A15 com caolinita branca.			
									SONDAGEM ATÉ 17,45 FURO FECHADO E SECO 7,60			
Nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução				
Inicial	m	04/09/2015	Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg		Início 04/09/2015					
Final	m	04/09/2015	Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm		término 04/09/2015					
Obs: Seguir NBR 6122/2010, Projeto de Fundações, na sequência, em especial o item 4.												
Estágia			Engº	IVO EDUARDO MORONI		25/05/2011		Folha 01				

Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2015.

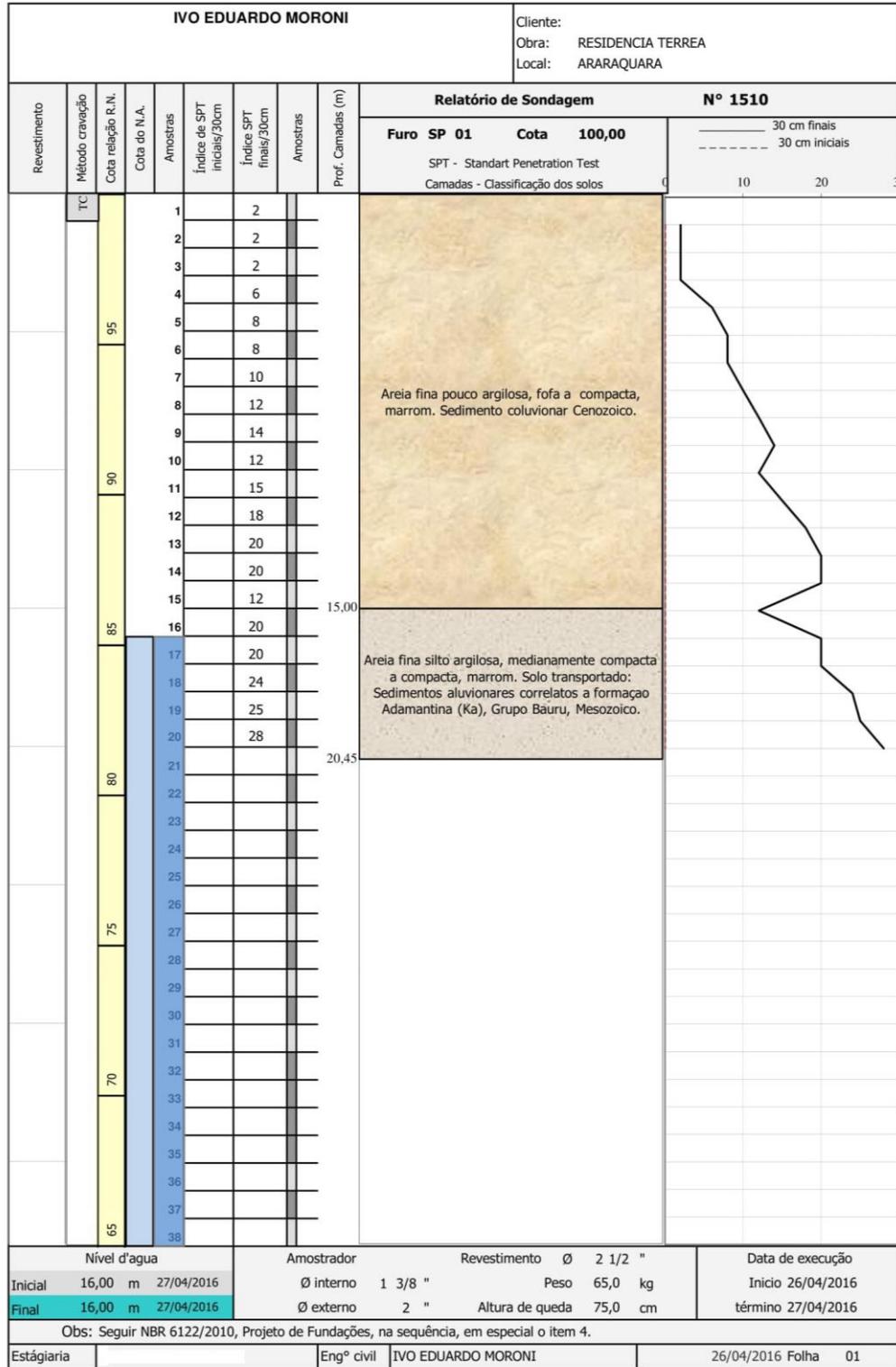
Figura 9 – Resultado do segundo furo da sondagem à percussão da segunda obra.

IVO EDUARDO MORONI										Cliente: Obra: CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL Local: ARARAQUARA - SP		
Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° 1425	
									Furo SP 02	Cota 100,00		30 cm finais
									SPT - Standart Penetration Test		10	2
									Camadas - Classificação dos solos			
0,0	Trado Helicoidal	95			1	0	4		<p>Areia fina pouco argilosa, fofa a medianamente compacta, marrom. Sedimento Coluvionar Cenozóico. A11 com presença de pedregulhos miúdos.</p>			
					2	0	6					
					3	0	6					
					4	0	7					
					5	0	6					
					6	0	6					
					7	0	7					
					8	8	8					
					9	0	8					
					10	0	8					
					11	0	8					
					12	0	7					
					13	0	10					
					14	0	7	14,00				
				15	0	7	18,00					
		85		16				<p>Areia fina silto-argilosa, pouco compacta a medianamente compacta, marrom. Solo transportado: Sedimentos aluvionares correlatos a formação adamantina (ka), Grupo Bauru, Bacia Paraná, mesozóico. A13 a A17 com caulinita branca.</p>				
				17								
				18								
				19								
				20								
				21								
				22								
				23								
				24								
				25								
				26								
				27								
				28								
				29								
				30								
				31								
				32								
				33								
				34								
				35								
				36								
				37								
				38								
Nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução				
Inicial	13,80 m	12/09/2015	Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg		Início 11/09/2015					
Final	13,80 m	12/09/2015	Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm		término 11/09/2015					
Obs: Seguir NBR 6122/2010, Projeto de Fundações, na sequência, em especial o item 4.												
Estagiária	Eng° Civil		IVO EDUARDO MORONI		25/05/2011		Folha		01			

Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2015.



Figura 11 – Resultado do primeiro furo da sondagem à percussão da terceira obra.



Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2016.



## 5 RESULTADOS

A partir dos ensaios nas 3 obras foi elaborada a tabela 1 a fim de comparar os resultados das sondagens à percussão nessas obras. De acordo com a tabela na NBR 6484/2001 dos estados de compactidade e de consistência nas camadas, na profundidade de aproximadamente três metros obtêm-se solo fofo, pois o índice de resistência à penetração  $\leq 4$ , e de acordo com o CINTRA nos ensaios que apresentam esses resultados, geralmente são solos colapsíveis.

Tabela 1 – Resultados da sondagem à percussão das três obras, apresentando solos colapsíveis em amarelo  $N-SPT \leq 4$ .

COMPARATIVOS DE AMOSTRAS DE SPT								
Amostras	Residencia Térrea - Obra 1		Residencia Térrea - Obra 2			Residencia Térrea - Obra 3		N-SPT FAIXA DE VALORES DE SOLOS COLAPSÍVEIS COMPACIDADE NBR6484
	Sondagem Nº 1477		Sondagem Nº 1425			Sondagem Nº 1510		
	Furo - SP 01	Furo - SP 02	Furo - SP 01	Furo - SP 02	Furo - SP 03	Furo - SP 01	Furo - SP 02	
	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	
ATERRO	2							2 - fofa
ATERRO	4							4 - fofa
ATERRO	4							4 - fofa
1	5	2	3	4	2	2	2	2 A 4 - fofa
2	8	2	3	6	2	2	2	
3	11	4	2	6	4	2	2	
4	10	6	3	7	10	6	7	
5	14	10	4	6	12	8	8	
6	13	10	4	6	11	8	10	
7	12	18	7	7	16	10	10	
8	14	19	8	8	14	12	11	
9	13	19	7	8	13	14	12	
10	12	17	7	8	15	12	12	
11	20	15	6	8	16	15	15	
12	18	19	5	7	15	18	14	
13	-	20	8	10	17	20	17	
14	-	20	7	7	13	20	16	
15	-	23	10	7	15	12	20	
	N. A. 13,70m	N. A. 8,00m	N. A. Ñ ENC.	N. A. 13,80m	N. A. Ñ ENC.	N. A. 16,00m	N. A. Ñ ENC.	

Fonte: própria.

Na figura 13 pode-se observar as amostras de solos obtidas nas três obras, através da sondagem à percussão.

Figura 13 – Quinze amostras de solos obtidas da sondagem à percussão



Fonte: Pavisolo Geotecnia e Pavimentação, 2018.

Conforme a tabela 1, a partir da amostra 15 torna-se desnecessário realizar o comparativo, pois após a amostra 15 de acordo com os relatórios de sondagens atingiu-se camadas de solos mais resistentes e valores de N-SPT mais altos e o objetivo deste trabalho foi analisar os resultados dos relatórios das sondagens em solos colapsíveis, ou seja, valores de N-SPT baixos que variam na camada do sedimento coluvionar cenozóico.

## 6 ANALISÉ DOS RESULTADOS

As três obras tiveram recalques diferenciais. Devido a esse comportamento, foi analisado os valores de N-SPT em uma “nova” faixa de valores menores ou igual a oito ( $\leq 8$ ) determinada pelos autores, uma vez que FERREIRA et al, 1989 *apud* CINTRA, 1998 consideram valores menores ou igual que 4.

Na obra 1 esta faixa de valores de 4 a 8 apresentou recalques após o acréscimo de carga do peso próprio do aterro no vizinho.

Na obra 2, sem acréscimo de carga, merece destaque, pois nessa obra houveram maiores danos decorrentes dos recalques diferenciais. Assim supõem-se que os valores de N-SPT na faixa de 4 a 8 também podem ser considerados importantes para parametrizar o comportamento do solo quanto a colapsibilidade. Observa-se também que na obra 2 esta faixa de valores se repete com a profundidade na primeira camada de solo do sedimento coluvionar cenozóico. Ressalta-se ainda, o fato de que esses valores podem ser reduzidos com a inundação.

Na obra 3 houveram infiltrações pelo jardim do vizinho o que sugere a redução dos valores de N-SPT na faixa de 4 a 8.

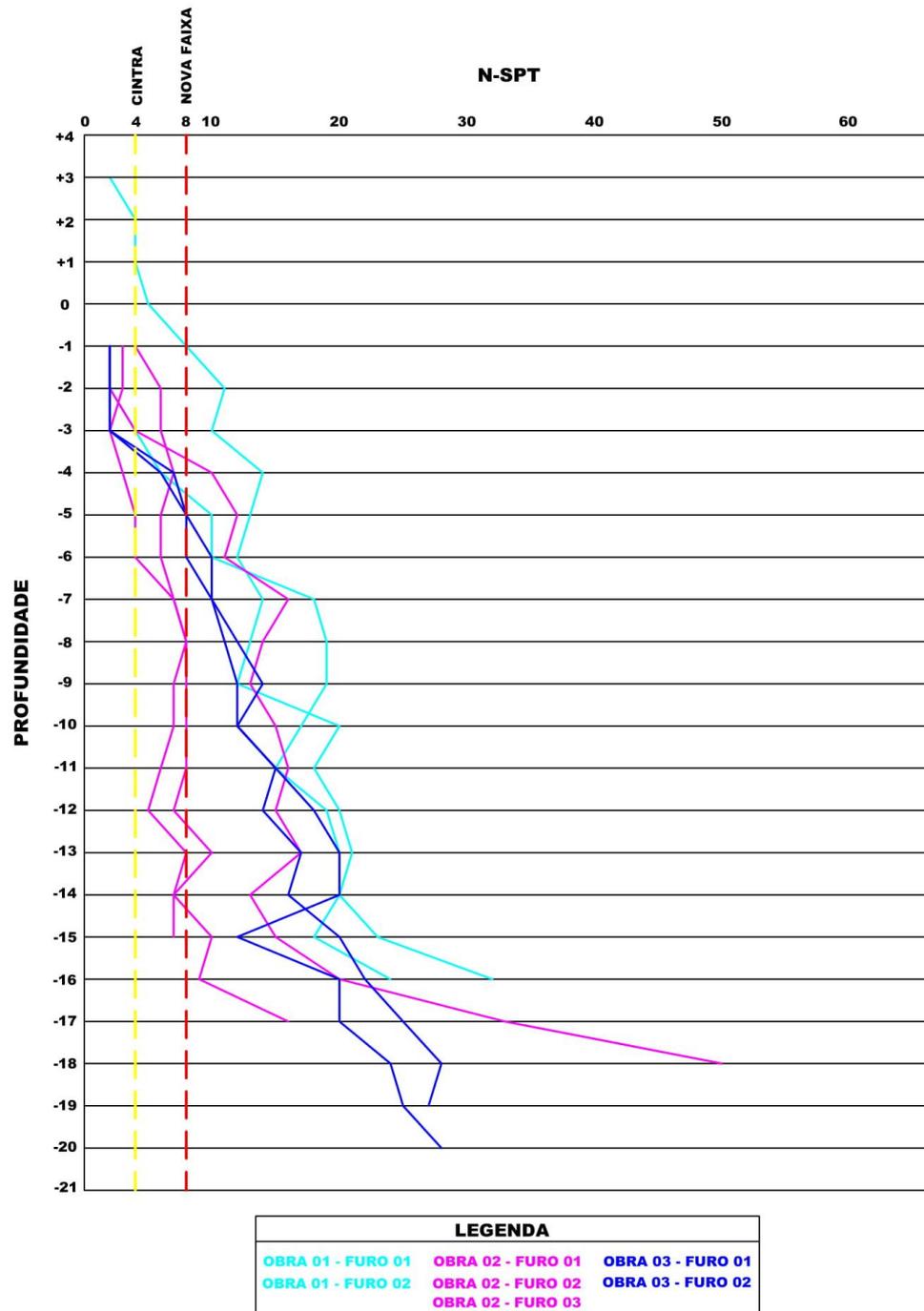
Apresenta-se esta “nova” faixa de valores de N-SPT para os quais os cuidados de execução de fundações devem ser redobrados. Em síntese sugere-se que pelos comportamentos observados nas 3 obras, a faixa de SPT para solos colapsíveis seja de até N-SPT de valor 8 nos casos dessa repetição ao longo da profundidade (vide obra 2). A tabela 2 e o gráfico 1 apresentam essa nova faixa em vermelho.

Tabela 2 – Resultados da sondagem à percussão das três obras, apresentando solos colapsíveis em amarelo e vermelho, com os valores de N-SPT na faixa de 4 a 8.

COMPARATIVOS DE AMOSTRAS DE SPT								
Amostras	Residencia Térrea - Obra 1		Residencia Térrea - Obra 2			Residencia Térrea - Obra 3		N-SPT FAIXA DE VALORES DE SOLOS COLAPSÍVEIS COMPACIDADE NBR6484
	Sondagem Nº 1477		Sondagem Nº 1425			Sondagem Nº 1510		
	Furo - SP 01	Furo - SP 02	Furo - SP 01	Furo - SP 02	Furo - SP 03	Furo - SP 01	Furo - SP 02	
	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	N-SPT	
ATERRO	2							2 - Fofa
ATERRO	4							4 - Fofa
ATERRO	4							4 - Fofa
1	5	2	3	4	2	2	2	2 A 4 - fofa
2	8	2	3	6	2	2	2	5 A 8 - Pouco compacta
3	11	4	2	6	4	2	2	
4	10	6	3	7	10	6	7	
5	14	10	4	6	12	8	8	
6	13	10	4	6	11	8	10	
7	12	18	7	7	16	10	10	
8	14	19	8	8	14	12	11	
9	13	19	7	8	13	14	12	
10	12	17	7	8	15	12	12	
11	20	15	6	8	16	15	15	
12	18	19	5	7	15	18	14	
13	-	20	8	10	17	20	17	
14	-	20	7	7	13	20	16	
15	-	23	10	7	15	12	20	
	N. A. 13,70m	N.A. 8,00m	N.A. Ñ ENC.	N. A. 13,80m	N.A. Ñ ENC.	N. A. 16,00m	N.A. Ñ ENC.	

Fonte: própria.

Gráfico 1 – Resultados da sondagem à percussão das três obras, com os valores de N-SPT e a nova faixa de solos colapsíveis.



Fonte: própria.

Na tabela 2 e no Gráfico 1 apresenta-se em amarelo a faixa de Cintra ( $N-SPT \leq 4$ ) e a nova faixa em vermelho ( $N-SPT \leq 8$ ) conforme a análise dos resultados de ensaios à percussão das 3 obras estudadas.

## 7 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho que foi comparar a teoria sobre os solos colapsíveis com amostras obtidas em sondagens à percussão em três obras no Município de Araraquara-SP foi alcançado à medida em que foram realizadas análises nas obras.

O ensaio de sondagem à percussão (SPT) apresentou resultados de N-SPT para as 3 obras onde houveram recalques diferenciais por colapso, coerentes com as recomendações de “Cintra”, ou seja,  $N-SPT \leq 4$  (tabela 1), porém foi recomendado que pelos comportamentos observados nas 3 obras a faixa de  $NSPT \leq 8$  (tabela 2 e gráfico 1) para solos colapsíveis nos casos dessa repetição ao longo da profundidade.

Portanto, realizada a sondagem à percussão e à medida que foi identificada a camada superficial com  $N-SPT \leq 8$  recomenda-se fundação profunda, principalmente nos casos de aterros, as fundações diretas sobre estas camadas de solos porosos em seu estado natural poderão haver recalques indesejáveis após a inundação de água.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNELLI, Norival. **Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas**. 1997. 205 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484. **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2001. 17. P.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2010. 91. P.
- BUENO, Benedito de Souza; VILAR, Orêncio Monje. **Mecânica dos Solos**. 1 vol. São Carlos: EESC-USP, 1998. p. 1-4.
- CINTRA, José Carlos Ângelo. **Fundações em Solos Colapsíveis**. 1ed. São Carlos: EESC-USP, 1998. 106. p.
- CINTRA, José Carlos Ângelo; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. p. 40-41.
- CINTRA, José Carlos Ângelo; AOKI, Nelson. **Projeto de Fundações em Solos Colapsíveis**. São Carlos: EESC-USP, 2013. 99. p.
- FERREIRA, R. C., MONTEIRO, L. B., PERES, J. E. E. & BENVENUTO, C., 1989, *Some aspects on the behaviour of brazilian collapsible soils*. XII Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Rio de Janeiro, suppl. vol., p. 117-120.
- NUNES, Gilberto Martins. **Estacas cravadas a reação (estacas prensadas ou mega) – procedimentos executivos**. 2016. 66 f. Tcc (Trabalho de conclusão de curso) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.
- PAVISOLO, **Geotecnia e Pavimentação - LTDA**. Empresa que realiza reforços de fundações, desde 1990. Araraquara. 2018.
- VILAR, M., 1981, Progresso dos estudos sobre solos tropicais em São Paulo. Simp. Bras.sobre Solos Tropicais em Engenharia. Rio de Janeiro, v. 2, p. 66-120.