UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB

FRANCISCO AFONSO DE CASTRO JÚNIOR

TENSÃO LIMITE

FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICO PARA ENSAIO DIRETO NO SOLO

Brasília

2023

FRANCISCO AFONSO DE CASTRO JÚNIOR

TENSÃO LIMITE
FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICO PARA ENSAIO DIRETO NO SOLO

Tese em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, Linha de Pesquisa Estruturas e Arquitetura para obtenção do título de Doutor em Arquitetura pela Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Márcio Augusto Roma Buzar

Brasília
2023

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho por qualquer meio de divulgação, convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CASTRO JÚNIOR, Francisco Afonso de
TENSÃO LIMITE – FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICO PARA ENSAIO DIRETO NO SOLO/Francisco Afonso de Castro Júnior.
Brasília, 2023. 189 p.

Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – PPG/FAU/UnB.

1. Equipamento Eletromecânico
2. Geotecnia
3. Resistência do Solo
4. Sapata
5. Base Compactada
6. Tensão Limite
7. Ensaio Direto de Solo

FRANCISCO AFONSO DE CASTRO JÚNIOR

TENSÃO LIMITE
FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICO PARA ENSAIO DIRETO NO SOLO

Projeto de Tese em Arquitetura e Urbanismo, Área de Concentração Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, Linha de Pesquisa Estruturas e Arquiteturas para obtenção do título de Doutor em Arquitetura pela Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar (Orientador)

Prof. Dr. Marcio Muniz de Farias

Prof. Dr. Carlos Medeiros Silva (Externo)

Prof. Dr. Marco Aurélio Souza Bessa (Externo)

Brasília, 31 de março de 2023.

TESE

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE
ARQUITETURA E URBANISMO DE BRASÍLIA – PPG – UNB

TENSÃO LIMITE
FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELETROMECÂNICO
PARA ENSAIO DIRETO NO SOLO

RESUMO

Atualmente na Geotecnia, diversos métodos de investigação e instrumentos de ensaio estão disponíveis para a determinação da tipologia e da capacidade de resistência dos solos. Entretanto, em alguns casos, torna-se inviável a realização dos procedimentos tradicionais devido a dificuldades logísticas, fatores humanos e/ou financeiros. A ideia norteadora da presente pesquisa foi a fabricação de um equipamento eletromecânico capaz de aferir a capacidade de suporte dos solos diretamente no interior das fundações, qualificando as verificações em situações restritivas. Objetivou-se com este Trabalho, a realização de ensaios em campo para registrar as cargas e os respectivos deslocamentos dos solos decorrentes de pressões progressivamente aplicadas em fundações rasas, sapatas e bases compactadas a fim de comparar os resultados obtidos com dados da sondagem SPT e do Ensaio de Placa. A fabricação do equipamento portátil permitirá a realização de ensaios nos canteiros de obra com a obtenção de resultados imediatos, suporte à equipe técnica no local de trabalho, execução de maior quantidade de testes em campo, automação dos ensaios e a consequente redução de possíveis erros humanos, emissão de relatórios de forma informatizada à tempo bem como a possibilidade de liberação imediata da fundação para as etapas posteriores de execução. Neste caminho, foi realizada uma investigação científica para a adoção de novos procedimentos de ensaio complementares aos existentes. Foram executados onze testes com o protótipo a fim de subsidiar a fabricação do equipamento piloto. Doze ensaios finais foram efetuados em duas construções no Distrito Federal que comprovaram a eficiência do aparelho em campo. O novo ensaio introduziu no campo da Geotecnia mais uma alternativa de verificação complementar e corroborou a agilidade e a qualificação da determinação da capacidade de resistência dos solos. O equipamento poderá vir a ser utilizado em zonas de risco ou em situações emergenciais de colapso do solo devido a efeitos climáticos, sobrecargas indevidas, fundações inadequadas ou execuções sem acompanhamento técnico. Posteriormente, adaptações poderão ser feitas no equipamento a fim de que possa verificar a capacidade de suporte do solo na base de tubulões, na ponta e no fuste de estacas correlacionando os resultados com a sondagem SPT.

Palavras Chave: Equipamento Eletromecânico - Geotecnia - Resistência do Solo - Sapata - Base Compactada - Tensão Limite - Ensaio Direto no Solo.

ABSTRACT

Currently in Geotechnics, several research methods and test instruments are available for determining the typology and resistance capacity of soils. However, in some cases, it becomes impracticable to carry out traditional procedures due to logistical difficulties, human and/or financial factors. The guiding idea of this research was the manufacture of electromechanical equipment capable of measuring the support capacity of the soil directly inside the foundations, qualifying the verifications in restrictive situations. The objective of this work was to carry out field tests to record the loads and respective displacements of the soils resulting from progressively applied pressures in shallow foundations, footings and compacted bases in order to compare the results obtained with the SPT drilling's data and the Test of Plate. The manufacture of portable equipment will allow carrying out tests at construction sites with immediate results, support for the technical team in the workplace, execution of a greater number of tests in the field, automation of tests and the consequent reduction of possible human errors, issuance of computerized reports on time as well as the possibility of immediate release of the foundation for later stages of execution. In this way, a scientific investigation was carried out for the adoption of new test procedures complementary to the existing ones. Eleven tests were carried out with the prototype in order to subsidize the manufacture of the pilot equipment. Twelve final tests were carried out in two constructions in the Federal District that proved the efficiency of the device in the field. The new test introduced in the field of Geotechnics another alternative for complementary verification and corroborated the agility and qualification of the determination of the resistance capacity of the soils. The equipment may be used in risk areas or in emergency situations of soil collapse due to climatic effects, undue overloads, inadequate foundations or executions without technical supervision. Subsequently, adaptations can be made to the equipment so that it can verify the support capacity of the soil at the base of the foundation tubes, at the tip and at the stem of the piles, correlating the results with the SPT survey.

Key Words: Electromechanical Equipment - Geotechnics - Soil Resistance - Footing - Compacted Base - Limit Tension - Direct Soil Test.

ABSTRACTO

Actualmente en Geotecnia se dispone de varios métodos de investigación e instrumentos de ensayo para determinar la tipología y capacidad resistente de los suelos. Sin embargo, en algunos casos, se vuelve impracticable realizar los trámites tradicionales debido a dificultades logísticas, factores humanos y/o económicos. La idea rectora de esta investigación fue la fabricación de un equipo electromecánico capaz de medir la capacidad de soporte del suelo directamente en el interior de las cimentaciones, calificando las verificaciones en situaciones restrictivas. El objetivo de este trabajo fue realizar ensayos de campo para registrar las cargas y los respectivos desplazamientos de los suelos resultantes de las presiones aplicadas progresivamente en cimentaciones superficiales, zapatas y bases compactadas con el fin de comparar los resultados obtenidos con la perforación SPT y el Ensayo de Lámina. La fabricación del equipo portátil permitirá realizar pruebas en obras con resultados inmediatos, apoyo al equipo técnico en obra, ejecución de un mayor número de pruebas en campo, automatización de pruebas y la consecuente reducción de posibles errores humanos, emisión de informes informatizados a tiempo, así como la posibilidad de liberación inmediata de la cimentación para posteriores etapas de ejecución. De esta forma, se realizó una investigación científica para la adopción de nuevos procedimientos de prueba complementarios a los existentes. Se realizaron once pruebas con el prototipo con el fin de subvencionar la fabricación del equipo piloto. Se realizaron doce pruebas finales en dos edificios del Distrito Federal que comprobaron la eficiencia del dispositivo en campo. El nuevo ensayo introdujo en el campo de la Geotecnia otra alternativa de verificación complementaria y corroboró la agilidad y calificación de la determinación de la capacidad resistente del suelo. El equipo puede ser utilizado en áreas de riesgo o en situaciones de emergencia de derrumbe de suelo por efectos climáticos, sobrecargas indebidas, cimentaciones inadecuadas o ejecuciones sin supervisión técnica. Posteriormente, se pueden realizar adaptaciones al equipo para que pueda verificar la capacidad de soporte del suelo en la base de las tuberías, en la punta y en el fuste de los pilotes, correlacionando los resultados con el levantamiento SPT.

Palabras Clave: Equipo Electromecánico - Geotecnia - Resistencia de Suelos - Zapata - Base Compactada - Tensión Límite - Ensayo Directo de Suelo.

Índice de Ilustrações

Figura 1: Triângulo de Feret adaptado; classificação granulométrica segundo (USDA, 2021). Adaptação para o português: (IFSC, 2021) 29
Figura 2: Detalhe concretagem de estaca escavada. 30
Figura 3: Detalhe projeto Ensaio de Placa em aço. Fonte: Desenho do Autor. 33
Figura 4: Detalhe placa sob macaco hidráulico (carga vertical). 33
Figura 5: Detalhe da aplicação do contrapeso com caminhão caçamba. 34
Figura 6: Rodovia no estado da California, EUA, década 1920. 36
Figura 7: Detalhe da preparação do solo para posterior compactação Proctor no cilindro e prensa com deflectômetros. Fonte: (ALÉMDAINÉRCIA, 2021) [25 de outubro 2021]. 37
Figura 8: Exemplo de Gráfico Densidade x Umidade. 39
Figura 9: Exemplo de Gráfico Expansão x Umidade. 39
Figura 10: Exemplo de Gráfico CBR - Penetração (carga/pressão) x Umidade. 40
Figura 11: Componentes atualmente utilizados em corpo estradal flexível. O ensaio CBR permite que sejam definidas as camadas e ações de execução. Diagrama esquemático/corte. 41
Figura 12: Equipamento Penetrômetro e detalhe do procedimento. Várias versões de Martelo estão disponíveis: Penetrômetro Dinâmico Leve (m=10kg); Penetrômetro Dinâmico Médio (m=30kg); Penetrômetro Dinâmico Pesado (m=50kg) e Penetrômetro Dinâmico Super Pesado (m=63,5kg). .43
Figura 13: Corte esquemático do aparelho e mecanismo de funcionamento e técnico realizando o ensaio propriamente dito. Fonte: (HUMBOLDT, 2021, p. 4). 45
Figura 14: Equipamento Placa Dinâmica e detalhe do ensaio. 47
Figura 15: Teste sendo realizado em bases compactadas. 47
Figura 16: Demonstração de controle dos dados, em tempo, via celular. Fonte: (BP_INSTITUT, 2021), (CFT &, 2021) e (TERRATEST, 2021) [03 de dezembro 2021]. 48
Figura 17: Detalhe do acelerômetro interno, parte integrante da placa metálica de ensaio. 48
Figura 18: Detalhe do cone de penetração e equipamento de cravação. 50
Figura 19: Ensaio CPT e outros ensaios de penetração. 51
Figura 20: Sondagem SPT e detalhe do amostrador bipartido e corpo de solo para análise em laboratório. Fonte: (CIVICONCEPTS, 2021) [27 de outubro 2021]. 54
Figura 21: Detalhes da cabeça de bater e martelo cilíndrico maciço. 57
Figura 22: Fases para cálculo NSPT. 59
Figura 23: Exemplo de tabela/gráfico sondagem SPT com todas as informações compiladas. 61
Figura 24: Segmentos de hastes instrumentados posicionados no topo e na base do conjunto de hastes e sistema de aquisição de dados. 63
Figura 25: Detalhe da haste instrumentada e proteção dos acelerômetros por meio de de uma camada de borracha silicone. Fonte: Imagem (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 160). 64
Figura 26: Segmento de haste instrumentado posicionado abaixo da cabeça de bater. 64
Figura 27: Aparelhagem e fluxos de coleta de dados. 65
Figura 28: Detalhe do teste CBR *in situ* - partículas de cascalho menores que 20 mm. 67

Figura 29: Detalhe dos diferentes tipos de veículos carregados. Fonte: (SOUTHERNTESTING, 2021) e (ELE, 2021) [03 de dezembro 2021]. 67
Figura 30: Detalhe do teste CBR *in situ* - partículas de cascalho menores que 20 mm. 67
Figura 31: Detalhe execução de fundação com pressão hiperbárica. 71
Figura 32: Processo de elaboração das normas no Brasil. 74
Figura 33: Igreja de São Pedro dos Clérigos, imagem da época e planta esquemática: a) coro; b) nártex ou galilé; c) nave; d) nichos e altares laterais; e) capela mor. Fonte: fotografia, Augusto Malta - 1941 e desenho, (ALVIM, 1999). 76
Figura 34: Professor Fernando Luiz Lobo Carneiro em conferência no Clube de Engenharia, em 27 de abril de 1948 e detalhe da estante da biblioteca pessoal em que o engenheiro reuniu seus escritos no ano de 1991 (THOMAZ, 2021). 77
Figura 35: Demonstração da solução sugerida por Fernando Luiz Lobo Carneiro e detalhe do ensaio de cisalhamento diametral no corpo de prova. Desenho e imagem: (ARQUITETURA, 2021) [11 de novembro 2021]. 78
Figura 36: Construção/abertura da Avenida Presidente Vargas com vários elementos demolidos. Detalhe da Igreja dos Clérigos, à esquerda, ainda “de pé”. Fonte: (ALVIM, 1999). 80
Figura 37: Projeto executivo do equipamento; cotas em milímetros. 89
Figura 38: Detalhe das mesas fixa e móveis e pistão de MDF envolvendo parafuso da célula de carga. Fonte: Desenho do Autor. 89
Figura 39: Mapa de componentes do equipamento Tensão Limite. 90
Figura 40: À esquerda, célula de carga sob pistão, ambos fixados na mesa móvel. Fonte: Imagem do Autor. 91
Figura 41: À direita, aplicativo celular; cargas e deslocamentos. Fonte: Imagem do Autor. 91
Figura 42: Detalhe controlador Raspberry. 92
Figura 43: Detalhe motor de passo 100Kg e leitor LVDT - 70 mm (haste à direita). 92
Figura 44: Construção equipamento; estrutura de madeira para conjugação dos componentes mecânicos e eletrônicos. 92
Figura 45: Detalhe da mesa fixa e das mesas móveis. À frente é possível observar o eixo guia fixo e ao centro encontra-se o fuso metálico ligado ao motor de passo que promove a movimentação da mesa e pistão. 93
Figura 46: Equipamento Tensão Limite finalizado e pronto para os testes e detalhe da carga humana aplicada (contrapeso 72 Kg). Fonte: Imagens do Autor. 93
Figura 47: Quadro comparativo – Ensaios. Fonte: Quadro do Autor. 94
Figura 48: Ensaios de Placa em carga realizados. À esquerda ensaio em Santa Maria e à direita ensaio em Ceilândia. Placa de aço com 60 cm de diâmetro e cargas de, aproximadamente, 06 toneladas, carga máxima aplicada nos dois ensaios. 95
Figura 49: Detalhe escolha do melhor local de teste. Fonte: Imagem do autor. 96
Figura 50: Detalhe limpeza e retirada de detritos e material solto. 96
Figura 51: Detalhe da planificação e do disco dentado confeccionado pelo Autor. 96
Figura 52: Detalhe acondicionamento do equipamento no solo. 97

Figura 53: Testagem preliminar, mecânica e digital. 97
Figura 54: Feira Central de Santa Maria. 98
Figura 55: Ensaio de Tensão Limite, Feira de Santa Maria. Detalhe abertura do piso e peso próprio do operador/técnico/Autor. 98
Figura 56: Ensaio de Placa solicitado pela administração local e detalhe do caminhão carregado com brita servindo de contra peso sobre o macaco hidráulico e a placa de metal. Fonte: Imagem do Autor. 99
Figura 57: Comparação entre 5 ensaios de Tensão Limite, Furo 01 e as curvas do Ensaio de Placa. 100
Figura 58: Comparação entre 5 ensaios de Tensão Limite, Furo 03 e as curvas do Ensaio de Placa. 102
Figura 59: Furo 03. Detalhe protótipo em funcionamento. Fonte: Imagem do Autor. 102
Figura 60: Ponto/Furo 01. Detalhe das marcas do pistão no solo após ensaios. Fonte: Imagem do Autor. 103
Figura 61: Blocos fabricados pelo Autor para aplicação sobre o equipamento, total 175 Kg. 104
Figura 62: Galpão na Ceilândia, local do ensaio de resistência de solo compactado. 105
Figura 63: Detalhe piso compactado e estrutura do Galpão na Ceilândia e local do ensaio de resistência de solo. Fonte: Imagem do Autor. 106
Figura 64: Teste em laboratório com o contrapeso sobre equipamento e carga aplicada durante os procedimentos de ensaio. Fonte: Imagem do Autor. 107
Figura 65: Detalhe do Ensaio de Placa e ensaio de Tensão Limite; equipamento sobre base planificada. 107
Figura 66: Comparação entre a curva do ensaio Tensão Limite, Ponto 03 e a curva do Ensaio de Placa 108
Figura 67: Da esquerda para a direita: 1 - Proposta inicial de contrapeso – operador/técnico, aproximadamente 72 Kg; 2 - Avanço no volume de carga com a fabricação de blocos de concreto armado e incremento no contrapeso, total de 175 Kg; 3 - Proposta final com anilhas de aço carbono totalizando 250 Kg sobre o equipamento Tensão Limite. Fonte: Imagens do Autor. 110
Figura 68: Diagrama processo de projeto e execução de fundações com destaque na etapa de utilização do equipamento/ensaio de tensão limite (adaptação do Autor). 111
Figura 69: Corte esquemático de uma sapata. 112
Figura 70: Ensaio de Tensão Limite realizado diretamente na superfície de assentamento da sapata com resultados imediatos para comparação com os ensaios preliminares de projeto. Detalhe dos pontos de ensaio. Fonte: Imagem internet domínio público. 112
Figura 71: Da esquerda para a direita: 1 - conjunto célula de carga e pistão (diâmetro 3 cm) do protótipo; 2 - conjunto mesa móvel de aço, célula de carga e pistão metálico com incremento de área; 3 - detalhe pistão metálico a ser confeccionado; 4 - detalhe célula de carga com capacidade de 500 Kgf. 113

Figura 72: Acima à esquerda, Motor de Passo resistência 500 Kgf; acima e à direita, Driver de Passo com cooler para resfriamento e abaixo, detalhe do conjunto de aplicação de força e controlador. 114
Figura 73: À esquerda, formato da célula de bateria externa de lítio e à direita, a bateria assentada sobre as anilhas de contrapeso.....115
Figura 74: De cima para baixo: 1 - pesquisa, análise e avaliação para escolha das chapas de aço carbono; 2 - corte à plasma em execução pelo operador; 3 - corte finalizado. Fonte: Imagens do Autor. 115
Figura 75: De cima para baixo: 1 - inserção de chapa metálica na prensa; 2 - verificação do serviço de dobragem executado pelo operador; 3 - amostra de chapa de aço carbono 3/8 de polegada a ser utilizada no Equipamento Piloto Tensão Limite. Fonte: Imagens do Autor. 116
Figura 76: Esquema comparativo das estruturas do equipamento. À esquerda a estrutura em MDF do protótipo e à direita o conjunto da estrutura de aço carbono para o modelo final do equipamento *Tensão Limite* constituído de 2 módulos. Fonte: Imagem e desenho do Autor.....117
Figura 77: À esquerda, placas de Neoprene e à direita a placa ajustada ao formato da base do equipamento Tensão Limite. Fonte: Imagem e desenho do Autor. 117
Figura 78: Acima, jogo de ponteiras e perspectiva; abaixo detalhe da ponteira fixada na célula de carga sobre mesa móvel e equipamento em carga pronto para uso. Fonte: Desenho do Autor. ..118
Figura 79: Detalhe e exemplo de Tablet com aplicativo especifico instalado para controle do equipamento, visualização de dados, gráficos e relatório automático para repasse digital das informações. 119
Figura 80: Modelo Equipamento Piloto/final em carga (acima), Perspectiva explodida (à direita) e protótipo para comparação. 120
Figura 81: Equipamento Piloto finalizado e pronto para a execução dos ensaios. Detalhe da visita de inspeção com fechamento em chapa de acrílico. Fonte: Imagem do Autor. 122
Figura 82: Seleção e aquisição dos insumos metálicos. Fonte: Imagem do Autor. 123
Figura 83: Corte à plasma dos tampos e mesas. Fonte: Imagem do Autor. 123
Figura 84: Usinagem das peças - torneadora. Fonte: Imagem do Autor. 123
Figura 85: Camisas de ligação *motor x fuso*, pistão e célula de carga. Fonte: Imagem do Autor. ..123
Figura 86: Rolamento de encosto, fuso e mesa de apoio. Fonte: Imagem do Autor. 123
Figura 87: Motor de passo, driver controlador e fuso. Fonte: Imagem do Autor. 124
Figura 88: LVDT e castanha do fuso. Fonte: Imagem do Autor. 124
Figura 89: Carcaça e mesas com pintura antioxidante; furação das mesas. Fonte: Imagem do Autor. 124
Figura 90: Soldagem MIG, desbaste, lixamento e limpeza da escória. Fonte: Imagem do Autor...124
Figura 91: Furação das mesas, separação e organização das peças mecânicas. Fonte: Imagem do Autor. 125
Figura 92: Início e término da montagem da mesa fixa e móvel. Fonte: Imagem do Autor.....125
Figura 93: Fixação/ligação das camisas do sistema *motor x fuso* e conjunto montado. Fonte: Imagem do Autor. 125

Figura 94: Montagem finalizada, equipamento pronto para pintura de acabamento. Fonte: Imagem do Autor. 125
Figura 95: Pintura e peças acabadas. Fonte: Imagem do Autor. 126
Figura 96: Equipamento finalizado e pronto para as instalações eletrônicas. Fabricação exclusivamente realizada pelo Autor/Pesquisador (à direita). Fonte: Imagem do Autor. 126
Figura 97: Mapa dos componentes e das ligações eletrônicas; início das conexões. Fonte: Imagem do Autor. 126
Figura 98: Ligações eletrônicas e conferência dos componentes. Estruturação e ligações eletrônicas exclusivamente realizadas pelo Autor/Pesquisador no Laboratório de Visualização, Interação e Simulação – LVIS, UnB, sob supervisão do Coorientador da Tese. Fonte: Imagem do Autor. 127
Figura 99: Testagem e configuração dos componentes eletrônicos. Fonte: Imagem do Autor. 127
Figura 100: Testagem e configuração dos componentes eletrônicos. Fonte: Imagem do Autor. .. 127
Figura 101: Teste piloto realizado pelo Autor; FT, UnB. Fonte: Imagem do Autor. 128
Figura 102:..... 130
Figura 103: Situação do lote em Águas Claras, detalhe da Junta “A” do projeto de fundações, parcela/local dos ensaios. Fonte: Google Maps. 131
Figura 104: Mapa/localização das sapatas de ensaio – Junta “A”..... 131
Figura 105: Rampa de acesso canteiro de obra e local dos ensaios. - Junta “A”. Fonte: Imagem do Autor. 132
Figura 106: Sapatas alagadas devido ao período das chuvas / local dos ensaios. Fonte: Imagem do Autor. 132
Figura 107: Início dos procedimentos de ensaio: verificações preliminares; limpeza preliminar, pontos de interesse e quantidade. Fonte: Imagem do Autor. 133
Figura 108: Logística até a fundação, planificação do solo realizada pelo Autor e bases prontas para assentamento do equipamento..... 133
Figura 109: Checagem do prumo, testagem preliminar, assentamento do contrapeso e ensaios realizados pelo Autor (última imagem) em conjunto com a equipe de obra. Fonte: Imagem do Autor. 133
Figura 110: Infográfico Sapata 321: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas/tensões na base da sapata. Dimensões da sapata: 3,30 x 2,95 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos. 134
Figura 111: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 321. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura). 135
Figura 112: Limpeza geral e preparação da base para planificação, checagem de nível para acomodação do equipamento de ensaio. Fonte: Imagens do Autor. 135
Figura 113: Logística, limpeza da fundação, planificação, nivelamento e checagem de nível realizados pelo Autor. Fonte: Imagens do Autor 136
Figura 114: Equipe de obra e Autor (ao centro) após armazenagem do equipamento. Fonte: Imagens do Autor. 136

Figura 115: Infográfico Sapata 316: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas/tensões na base da sapata. Dimensões da sapata: 3,65 x 2,65 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos. 137
Figura 116: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 316. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura). Detalhe para o 2° Ponto com o veio de solo hidromórfico/esbranquiçado/mole. Imagem registrada ao final do dia de trabalho; detalhe da percolação de água. Fonte: Imagens do Autor. 138
Figura 117: Apresentação das tensões resultantes dos ensaios nas Sapatas 316 e 321. 139
Figura 118: Ponto de sondagem SPT e sapatas de análise. Fonte: (FUNDEX, 2021). 140
Figura 119: Laudo de Sondagem SPT – Ponto SP107 com cotas de profundidade das Sapatas em análise. Fonte: (FUNDEX, 2021). 140
Figura 120: Situação do lote em Águas Claras. Fonte: Google Maps. 144
Figura 121: Planta de Situação e Locação. 144
Figura 122: Localização 145
Figura 123: Sapata 1715; objeto de estudo. 145
Figura 124: Terreno/canteiro de obras. Fonte: Imagem do Autor. 146
Figura 125: Mobilização até a fundação/sapata. Fonte: Imagem do Autor. 146
Figura 126: Checagem do equipamento através da visita lateral, checagem da profundidade, condições de umidade do solo e serviços de planificação realizados pelo Autor. Fonte: Imagem do Autor. 146
Figura 127: Limpeza fina, checagem do nível, testagem preliminar, assentamento e equipamento e ensaios realizados pelo Autor. Fonte: Imagem do Autor. 146
Figura 128: Infográfico Sapata 1715: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas na base da sapata. Dimensões da sapata: 1,70 x 1,50 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos. Escavação: mecânica e limpeza manual. Fonte: Imagem e gráfico do Autor. 147
Figura 129: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 1715. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura). 148
Figura 130: Localização do ponto de Sondagem SPT – Ponto SPT2 e local da fundação. 148
Figura 131: Laudo de Sondagem SPT – Ponto SPT2 com cotas de profundidade da Sapata em análise. Fonte: (REFORSOLO, 2021). 149
Figura 132: Detalhe do mecanismo de pressão horizontal. Da esquerda para a direita: 1 - Elevação; 2 - Elevação dentro da estaca; 3 - Fuso e cabeçote; 4 - Conjunto completo; 5 - Detalhe da barra e cabeçote; 6 - Detalhe do conjunto completo. Fonte: Desenho do Autor. 157
Figura 133: À esquerda, detalhe do encaixe do tubo metálico com cabeçote de pressão internamente posicionado, pronto para uso e, à direita, detalhe do *Cabeçote de Pressão* constituído por dois pistões simétricos e opostos. Internamente à caixa cilíndrica do cabeçote, encontra-se a célula de carga e o verificador de deslocamentos - LVDT. Fonte: Desenhos do Autor. 158
Figura 134: Perspectivas do mecanismo de verificação de resistência lateral de solo penetrado no elemento de fundação (estaca) pronto para a realização do ensaio. Fonte: Desenhos do Autor. . 158

Índice de Tabelas

Tabela 1: Potencialidades do CPT e do CPTu 52
Tabela 2: Classificação de Solos Segundo a NBR 7250/1982 60
Tabela 3: Classificação de Solos e Rochas Segundo Clayton 60
Tabela 4: Cálculo da Capacidade Máxima de Tensão do Equipamento 88
Tabela 5: Resultados dos Ensaios no Ponto/Furo 01 99
Tabela 6: Resultados dos Ensaios no Ponto/Furo 03 101
Tabela 7: Cálculo Capacidade Máxima de Tensão para o Equipamento com Blocos de Concreto . 103
Tabela 8: Dados Preliminares do Equipamento e Dados Resultantes do Ensaio 108
Tabela 9: Cálculo Capacidade Máxima de Tensão para o Equipamento com Anilhas de Aço 113
Tabela 10: Cálculo Tensão Admissível pelo Método de Vargas 141
Tabela 11: Sapatas 321 e 316: Dados das Fundações, Ensaios Tensão Limite e Cálculo Semiempírico Milton Vargas 143
Tabela 12: Sapata 1715: Dados da Fundação, Ensaios Tensão Limite e Cálculo Semiempírico Milton Vargas 151

Sumário

1. INTRODUÇÃO 17
2. REVISÃO 22
2.1. Breve Histórico da Geotecnia 22
2.2. Solos 27
2.3. Instrumentação 32
3. PROBLEMA 70
4. JUSTIFICATIVA 73
5. OBJETIVOS 81
6. METODOLOGIA 84
7. DESENVOLVIMENTO 86
7.1. Protótipo 86
7.2. Ensaios Preliminares 95
7.3. Equipamento Piloto 110
7.4. Ensaios Finais 130
8. CONCLUSÕES 153
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 159
10. ANEXOS 163

para o meu amado pai,

exemplo de vida,

Francisco Afonso de Castro

a minha alucinação é suportar o dia a dia

e o meu delírio é a experiência com coisas reais.

a verdade é sempre revolucionária!

todo projeto de fundações contempla as cargas aplicadas pela obra e a resposta do solo a estas solicitações. os solos são muito distintos entre si e respondem de maneira muito variável, por isto, toda experiencia transmitida pelas gerações de construtores sempre se relaciona ao tipo de solo existente

Imagem: internet livre. Texto: (FALCONI, 2019, p. 55)

1. INTRODUÇÃO

> Todo projeto de fundações contempla as cargas aplicadas pela obra e a resposta do solo a estas solicitações. **Os solos são muito distintos entre si e respondem de maneira muito variável**, por isto, toda experiência transmitida pelas gerações de construtores sempre se relaciona ao tipo de solo existente (FALCONI, 2019, p. 55) [grifo nosso].

Com o desenvolvimento da ciência e das tecnologias mais apuradas, cada vez mais, foi sendo possível uma investigação mais qualificada da mecânica dos solos. Em laboratório, atualmente, é possível investigar e determinar por meio de um conjunto de ensaios específicos, as características físicas, mecânicas, hidráulicas e de deformabilidade dos solos dentro de cada contexto geológico e de cada projeto em específico. Além da investigação em campo, é imprescindível a realização dos ensaios em laboratório para um melhor entendimento do comportamento do solo além de permitir avaliar a coerência nos resultados de diferentes ensaios. Os solos possuem uma vasta diversidade de tipologias, de características bem como diversas formas de composição e distribuição ao longo da superfície terrestre. Estes dados e informações relacionam-se diretamente com o fator da resistência e, portanto, são essenciais para o desenvolvimento e a elaboração racional e segura dos projetos de infra e supra estrutura, principalmente quanto à seleção do tipo de fundação mais apropriada ao contexto.

Atualmente, a Norma Brasileira 6122 (ABNT, 2019), estabelece que para fins de projeto e execução de fundações, as investigações geológicas e geotécnicas compreendem desde o *reconhecimento inicial, a investigação geológica, a investigação geotécnica preliminar e complementar, as investigações complementares de campo e as investigações complementares de laboratório* que são realizadas sobre amostras *deformadas* ou *indeformadas*, representativas das condições locais em que se verificam as características, à resistência, à deformabilidade, à permeabilidade, à colapsibilidade e à expansibilidade do solo. Explicita, em específico, que a natureza e a quantidade de investigações a serem realizadas dependem da peculiaridade da obra, dos valores e dos tipos de carregamentos atuantes, bem como das características geológicas básicas da área em estudo.

Independentemente do escopo dos ensaios preliminares, devem ser realizadas investigações adicionais sempre que, em qualquer fase da execução da fundação, forem constatadas discrepâncias entre as condições locais e as indicações fornecidas pelos ensaios em laboratório de tal sorte que as divergências fiquem completamente esclarecidas.

A análise mais detalhada da Norma 6122 (ABNT, 2019), de certa maneira, direciona, encaminha e corrobora o objetivo e os trabalhos de pesquisa produzidos por meio desta Tese:

> Em função dos resultados obtidos na investigação geotécnica preliminar, devido a peculiaridades do subsolo ou do projeto, ou ambos, ou ainda, no caso de dúvida quanto à natureza do material impenetrável a percussão, pode ser necessária uma **investigação complementar**, através da realização de sondagens adicionais [...] **outros ensaios de campo** e de laboratório (NBR 6122, 2019, p. 10) [grifo nosso].

A necessidade de novas tecnologias que possam fornecer resultados mais imediatos *in situ* tem impulsionado novas pesquisas neste sentido, impactando no desenvolvimento de novos aparatos de verificação da resistência de solos**. Em que pese a evolução tecnológica e a vasta gama de aparatos para verificação geotécnica, inúmeras são as possibilidades ainda existentes nesta especialidade.** No caso brasileiro, um país de vastidão continental, muitas vezes, não é possível a utilização dos métodos existentes quer seja pelo caráter dispendioso quer seja por limitações técnicas e logísticas cabendo ressaltar que alguns ensaios ainda são realizados de forma empírica (FALCONI, 2019, p. 215).

Pode-se tomar como destaque desta constatação, as construções que exigem fundações profundas abaixo do nível da água e que eram executadas por meio de tubulões[1] pressurizados. A legislação trabalhista brasileira, em específico as normas NR 18 (MTb, 1978) e NR 15 (MTb, 1978), desde de que fossem garantidos todos os requisitos técnicos e de segurança no trabalho, autorizavam a execução da perfuração manual ou mecanicamente por meio de mão de obra técnica especializada. Os trabalhos eram executados sob condições hiperbáricas em um ambiente onde o trabalhador era obrigado a suportar pressões maiores que a pressão atmosférica e, portanto, exigindo cuidadosa e criteriosa descompressão. Para verificação da capacidade de suporte da base da fundação, o técnico especialista adentrava o tubulão e verificava manualmente o solo.

A ideia norteadora da presente pesquisa foi a produção de um equipamento que permitisse a realização de ensaios de compressão diretamente na base, conferindo confiabilidade nos resultados de maneira a substituir a verificação empírica que era realizada dentro do tubulão pressurizado sem nenhum apoio ou suporte tecnológico apropriado. Em

[1] **Dentro da conceituação** imposta pela prática profissional de engenharia de fundações no brasil, são chamados de tubulões as fundações profundas, de grande porte, com seção circular e que apresentam, em geral, a base alargada (FALCONI, 2019, p. 404).

que pese a atual proibição do emprego de tubulões pressurizados, o equipamento poderá ser de grande serventia a inúmeros outros tipos de situações em que se tornem parcial ou totalmente inviáveis a utilização dos procedimentos comumente utilizados.

O exemplar de referência corrobora a discussão e a pesquisa de soluções para o problema, quer seja, a fabricação de um equipamento eletromecânico e método específico capaz de ser utilizado **diretamente no interior das fundações para a inspeções de resistência do solo**. Neste caminho, foi realizada uma investigação científica para a adoção de novos procedimentos de ensaio e a construção de um novo equipamento de ensaio complementar aos já existentes.

Em resumo, a Tese teve o seu foco direcionado na **verificação da resistência dos solos por meio de um novo procedimento de ensaio e um novo aparato tecnológico de tensão limite e a análise das comparações dos dados coletados com alguns métodos comumente utilizados no Brasil com vistas a auxiliar, agilizar, complementar e qualificar os trabalhos de inspeção de resistência de solos desenvolvidos pela engenharia geotécnica em fundações rasas, sapatas, radiers e bases compactadas e, possivelmente, em tubulões.**

Espera-se, em consequência, maior agilidade e suporte nos ensaios, sobretudo, em situações peculiares e em locais de maior complexidade logística.

Para uma melhor inteligibilidade do conteúdo tratado neste trabalho de pesquisa, **optou-se em organizá-lo em quatro partes que podem ser conferidas a seguir.**

Parte I – A matéria a ser desenvolvida é introduzida, esclarecendo o leitor que a intenção se encontra na confluência da teoria com a realidade, foco mais fértil do trabalho. O colóquio no Capítulo 1 traz à luz a proposição que pode vir afetar um segmento substancial da sociedade cujos resultados têm potencial de auxiliar o meio acadêmico. De acordo com o texto Memórias de um Orientador de Tese[2], do professor Claudio Moura Castro, três tópicos precisam ser, inexoravelmente, respondidos para justificar uma pesquisa de tese: é original, importante e viável? Assim, nesta parcela, demonstra-se a energia humana e intelectual empenhada com a pesquisa, além do processo de revisão bibliográfica e estado da arte que pode ser conferido no Capítulo 2.

[2] **Parte integrante do livro** *A Aventura Sociológica, Objetividade, Paixão, Improviso e Método na Pesquisa Social*, organizado por Edson Oliveira Nunes, Editora Zahar.

Parte II – Discute-se o problema, justifica-se o trabalho desenvolvido na Tese, definem-se os objetivos bem como os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa. Buscou-se demonstrar que pesquisas estão sendo desenvolvidas continuamente no sentido de criar novas tecnologias de análise de capacidade de suporte dos solos. O conteúdo pode ser conferido nos Capítulos de 3 a 6.

Parte III – Nesta parcela de pesquisa são demonstrados os componentes que estruturam o Protótipo e o Equipamento Piloto, os ensaios de **Tensão Limite**[3] e os detalhes técnicos propriamente ditos. Ao longo do Capítulo 7 é apresentado o projeto, a configuração e as etapas de fabricação, além de explorar os ensaios/testes realizados em canteiros de obra e as comparações obtidas entre os Ensaios de Tensão Limite com outros ensaios e sondagens do tipo, SPT e Ensaio de Placa. São relatados os trabalhos de teste em algumas situações e locais no Distrito Federal para efetuar comparações gráficas dos testes com outros referenciais de ensaio e são esclarecidos os resultados obtidos. Por meio dos estudos, análises, avaliações e resultados preliminares, são demonstrados os avanços obtidos com o Equipamento Piloto de Tensão Limite e ensaios. As conclusões preliminares dos testes e ensaios com o Protótipo e o Equipamento Piloto são discutidas e analisadas em detalhe, em outras palavras, destaca as melhorias que foram alcançadas tanto ao nível de aparato mecânico/eletrônico quanto ao nível de método de ensaio.

Parte IV – Nesta seção podem ser conferidas as conclusões e considerações finais retiradas deste trabalho de pesquisa. Elenca-se algumas sugestões de possíveis desdobramentos da Tese, apresenta algumas proposições para trabalhos futuros bem como a listagem das referências bibliográficas utilizadas e anexos.

[3] O termo **Tensão Limite** refere-se à capacidade de suporte do solo alcançado por meio do equipamento de ensaio (resistência de ponta), ou seja, a "tensão limite" do solo em função da tensão máxima aplicada pelo pistão metálico do equipamento: **Tensão Máxima Alcançada pelo Pistão e Carga** = Peso Total do Equipamento, 380Kg / Área do Pistão (diâmetro 6,35 cm), 31,67 cm² = **11,99 Kgf/cm²**. Entenda-se que se trata da "tensão limite" do solo em teste decorrente da máxima tensão aplicada pelo equipamento.

Em paralelo, a utilização do termo *Tensão Limite* poderá vir a auxiliar na disseminação e no reconhecimento da nova tipologia de ensaio quando em uso, fortalecendo o equipamento como uma *etiqueta* ou nova *marca* nas investigações geotécnicas.

nas ilhas flutuantes iniciava-se o processo de fundação fincando uma camisa metálica no fundo do mar. um tubo de ar comprimido retirava a água do interior da camisa. depois, era introduzido um tubo metálico dentro da camisa, junto com uma armação de ferro. o tubo era preenchido de concreto. com a secagem, a camisa metálica era retirada e a tubulação estava presa no fundo do mar. com a concretagem dos tubos, no mínimo dez para cada pilar, eram montadas uma laje e as saias de concreto que uniam as tubulações. dentro da estrutura eram montadas ferragens. a caixa era preenchida de concreto formando a base do pilar.

os perigos não eram poucos. trabalho nas alturas e sobre águas com 20 metros de profundidade, canteiros de obra em ritmo frenético, onde os cuidados com a segurança do trabalho eram detalhe dispensável, e operários sem qualquer instrução faziam parte da rotina do canteiro de obras.

... esperam nova possibilidade
de verem esse mundo se acabar
a arca de noé, o dirigível
não voam, nem se pode flutuar!

Verso: Admirável Gado Novo, Zé Ramalho, 1979.
Texto e imagens da construção da Ponte Rio – Niterói, 1974: https://infograficos.oglobo.globo.com/pais/ponte-rio-niteroi.html

2. REVISÃO

Em peculiar neste capítulo, preliminarmente, é apresentado um resumo breve da história da Geotecnia bem como importantes exemplares de Instrumentação[4] bem difundidos, utilizados e consagrados no país e no exterior; métodos relativamente simples com baixos custos de aquisição, manutenção e boa precisão de resultados. A discussão e a demonstração destes elementos servem de analogia e aproximação metodológica entre o ensaio Tensão Limite com outros tipos de método no que tange aos resultados esperados, especificamente, nas comparações a serem produzidas, na agilidade operacional durante o uso bem como na sua portabilidade.

2.1. Breve Histórico da Geotecnia

No livro Geotechnical Engineering – A Historical Perspective, os autores Braja e Sobhan relacionam a história da geotecnia com os consagrados períodos da história da humanidade. Em específico na primeira fase do Período Clássico (1776–1856), a maioria dos desenvolvimentos na área da engenharia geotécnica vieram de engenheiros e cientistas franceses. Praticamente todas as considerações teóricas usadas no cálculo da pressão lateral de terra em muros de arrimo foram baseadas em uma superfície de falha de base arbitrária no solo. **Charles Augustin de Coulomb** (1736-1806), cientista francês[5] e ícone de sua época, graduou-se em 1761 pela "École du Génie at Mézières" de Paris. Promoveu enorme contribuição à engenharia e à física, principalmente na área de resistência dos materiais. Como engenheiro civil, envolveu-se em diversas áreas, como projeto de estruturas, mecânica dos solos, fortificações, dentre outras. Além de seus importantíssimos trabalhos sobre magnetismo e eletricidade, foi o primeiro cientista a realizar grandes contribuições na

[4] **Na prática, todos os carregamentos são DINÂMICOS, havendo alteração na velocidade de aplicação da carga.** A forma de aplicação de uma carga (Q) é considerada estática quando se leva um tempo infinito para se atingir o valor da carga por meio de incrementos infinitesimais de carga (dQ). **No entanto, na realidade este tipo de carregamento não existe** uma vez que é impossível a aplicação de uma carga em um tempo infinito. Esta mesma carga quando aplicada em **um intervalo de tempo definido é considerada dinâmica**. Um carregamento é considerado instantâneo quando a carga é atingida por meio de um único estágio de carregamento, sendo que neste caso o tempo de aplicação da carga (t) é igual a zero.

[5] No século XVII, Galileu, Pascal, Descartes, Huygens e, sobretudo, Newton encarregam-se da difícil tarefa de enterrar os dogmas da doutrina escolástica e desenvolver os métodos de investigação e raciocínio sobre os quais se assentaria a ciência moderna. **Coulomb** dominava plenamente os métodos positivos que alguns sucessores de Newton tiveram tanta dificuldade em aplicar; era, ao mesmo tempo, hábil experimentador e profundo teórico. Em suas memórias, as pesquisas, quase sempre, obedeciam a uma ordem invariável: **preliminares teóricas, fundadas em conhecimentos anteriores, planos de trabalho, descrição dos aparelhos, relato das experiências, resultados numéricos, consequências teóricas, novas experiências inspiradas pelos dados obtidos, e assim por diante; chega depois às conclusões finais e refere-se às possíveis aplicações práticas.**

mecânica dos solos, trabalho pioneiro no deslizamento e atrito fluido. As obras de pesquisa que tratam do conceito do ângulo de atrito, constituem um dos mais importantes fundamentos da geotecnia. O envelope de Mohr-Coulomb, hipótese de deslizamento entre superfícies, é conhecido por todos os geotécnicos. A partir das pesquisas, Coulomb desenvolveu métodos para cálculo de estabilidade de taludes por meio da divisão das massas de solo em cunhas (DAS & SOBHAN, 2012, pp. 6, 429, 491). No livro *Teoria da Mecânica dos Solos* de Terzaghi, o Autor expressa a equação de Coulomb, resistência em função do esforço normal em seu primeiro capítulo com a diferença que, em 1920, definira o conceito de tensão efetiva do solo enquanto o Coulomb trabalhava com tensões totais (FALCONI, 2019, p. 25).

Henri P. G. Darcy, engenheiro francês foi um importante pioneiro na área tendo desenvolvido experimentos com areia por volta do ano de 1856. Foi com base nesses estudos realizados que eram avaliados os resultados de permeabilidade em filtros de areia e, por meio dos quais o engenheiro definiu o termo ''coeficiente de permeabilidade''.

Durante o período de 1910 e 1927, foram divulgados resultados de pesquisas realizadas com argila com importantes publicações de Albert M. Atterberg sobre a consistência do solo, Arthur Langtry Bell sobre ensaios de cisalhamento direto para determinação da resistência ao cisalhamento não drenado em amostras indeformadas e **Karl von Terzaghi**[6], em 1924, sobre ''O Princípio das Tensões Efetivas'' e ''A Teoria de Adensamento'' (1925), um dos trabalhos fundamentais na mecânica dos solos.

Rendulic L., em 1933, realizou os primeiros ensaios triaxiais drenados e não drenados em argila, com medidas de poro-pressão sendo estes ensaios continuamente utilizados; os resultados confirmaram o princípio das tensões efetivas.

Bishop e Henkel, no ano de 1957, publicam ''The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test'', um importante marco no desenvolvimento da investigação

[6] **Karl von Terzaghi**, naturalizado americano, nascido em **Praga em 02/10/1883** (falecimento em 25/10/1963) foi um engenheiro austríaco reconhecido como o **pai da mecânica dos solos e da engenharia geotécnica**. Dedicou-se à pesquisa de um método racional que resolvesse os problemas relacionados com a engenharia de solos e fundações. Em 1925, publica a Erdbaumechanik, considerada atualmente como o ponto de partida da mecânica dos solos e novo ramo da engenharia. De 1925 a 1929 trabalhou no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Os estudos se converteram em matéria fundamental na engenharia civil. Em 1938, na Universidade de Harvard, desenvolveu e lecionou seu curso sobre geologia aplicada à engenharia, aposentando-se em 1953. **Soil Mechanics in Engineering Practice** (1948) escrito em parceria com Ralph B. Peck, é de consulta obrigatória para os profissionais da engenharia geotécnica. **É considerado um dos mais destacados engenheiros civis do século XX**.

geotécnica em laboratório e a partir do qual o princípio das tensões efetivas começou a ser utilizado nos procedimentos de laboratórios comerciais em todo o mundo (FDas, 2011, p. 6).

No Brasil, durante o período colonial, segundo J. R. Katinsky (1994), haviam três tipos de construção: construções para indústria de exportação do açúcar relacionadas a instalações portuárias; construções administrativas da colônia com obras de quarteis, fortalezas militares, cadeias, edifícios públicos, igrejas, mosteiros e conventos; construções para as necessidades internas como as moradias, prédios de comércio, armazéns e moinhos que eram dominados pelas técnicas locais de taipas, pau a pique e pilão. Vargas (2002, p. 33) relata que pouco se sabe sobre as fundações dessas obras, além do método tradicional de alicerces comuns formados por pedras socadas em valas escavadas ao longo das paredes.

Por volta do último quartil do século XVII, o Frei Bernardo de São Bento, arquiteto renascentista, em seu texto "Declarações de Obras" redigido para a construção do Mosteiro São Bento no Rio de Janeiro detalha as normas para construir o alicerce com altura necessária para achar "terreno com dureza suficiente" (FALCONI, 2019, p. 31). Convém ressaltar que a boa técnica aplicada é um advento dos preceitos Vitruvianos sobre a arquitetura – *utilitas, firmitas* e *venustas* sob os quais deveriam erigir-se todas as construções, ou seja, atender os critérios de utilidade, segurança e beleza, respectivamente.

> Em 1808, com a chegada da corte portuguesa ao Rio de Janeiro, são fundados museus, jardins botânicos, bibliotecas e escolas de ensino superior. Tem início, então a formação de profissionais no Brasil com instrução baseada em ciências. A engenharia civil e, com ela, as técnicas de construção e fundações de estrutura, era lecionada na Academia Militar. **Somente em 1845 surge o ensino específico de Engenharia Civil, na Escola Central, independente da Militar.** Essa separação consolida-se com a criação da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1874 e da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1876 (FALCONI, p. 32) [grifo nosso].

O curso da Escola Politécnica contemplava o estudo de fundações com a disciplina "Estudo dos Materiais de Construção e sua Resistência, Tecnologia das Profissões Elementares e Arquitetura Civil, dando origem, posteriormente, às disciplinas de Construção e Grandes Estruturas as quais iriam evoluir para Fundações e Mecânica dos Solos.

No século XIX, a principal atividade desenvolvida pela engenharia brasileira era voltada a construção de ferrovias que abrangiam a execução de cortes, aterros e obras de arte, ainda assim, já haviam engenheiros locais com conhecimento da tecnologia de solo, a exemplo, as fundações do Reservatório de Água do Pedregulho, próximo à Ponte do Caju, em São Cristóvão, no Rio de Janeiro. No final do século, começaram a ser construídos os primeiros

edifícios em estrutura metálica como o Mercado São José em Recife (1872) e a Estação da Luz em São Paulo (1889) bem como grandes edificações como o Teatro Amazonas em Manaus (1896).

> **Todos esses edifícios mostraram a necessidade de aprimorar a técnica das fundações**. Os alicerces de pedra, em cavas, como especificava as "Declarações de Obras" para a construção do Mosteiro de São Bento são trocados por sapatas ou blocos de alvenaria de tijolos, apoiados sobre solo apiloado, no fundo de cavas no terreno, com profundidade mínima de um metro (FALCONI, p. 34) [grifo nosso].

Já no início do século XX, ocorrem grandes transformações da conjuntura estrutural devido ao aparecimento do concreto armado, que viabiliza a construção de edifícios em altura. Poucas informações e registros existem sobre as construções desse período, entretanto, por volta da década de 30, as estruturas de concreto apoiavam-se sobre sapatas de concreto armado ou blocos de concreto simples. As fundações profundas eram de estacas pré-moldadas de concreto armado ou de madeira capeadas por blocos de concreto. Ainda nos anos 1920, a engenharia brasileira se desenvolve fortemente com o advento da pesquisa no setor e com a criação de vários institutos e laboratórios de pesquisa aplicada, tais como o atual Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), anexo a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Em que pese a revolução na engenharia brasileira, a primeira contribuição nacional que influenciou o desenvolvimento da mecânica dos solos, em nível internacional, foi a tese de doutorado de Alberto Ortenblad defendida em 1926 no MIT (EUA) que versava sobre a teoria matemática do adensamento de depósitos de lama com publicações posteriores em São Paulo nos anos de 1928 e 1932 (FALCONI, p. 34).

Resultado das demandas de edifícios em altura no período, novos aparatos de investigação de solos foram projetados e construídos pelo IPT com os desenhos e especificações trazidos por Odair Grillo[7] dos Estados Unidos. O método de sondagem adotado foi o de *Percussão com Circulação de Água* correlacionando o número de golpes com a consistência das argilas e com a compacidade das areias, conforme indicado em publicação do IPT. Após fundar a primeira empresa de geotecnia do Brasil, o engenheiro desenvolveu e adotou uma nova padronização do número de golpes de resistência a penetração NIPT e NGM.

[7] **Odair Grillo Morretes** (18 de fevereiro de 2011-1996) é reconhecido como o primeiro brasileiro, formado em engenharia em 1934, a **usar a mecânica dos solos e geotecnia nos moldes como se entende atualmente.** Como funcionário do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SP, foi para os Estados Unidos na década de 1930 investigar as novas técnicas de construção de estradas. Fundou a primeira empresa de geotécnica do país, intitulada Geotécnica e influenciou profissionais como Hernani Sávio Sobral que elaborou sua tese de cátedra sob sua orientação inicial. Em 1947 criou a primeira cadeira de mecânica dos solos na USP Universidade de São Paulo. Fonte: (WIKIPÉDIA, 2021) [08 de novembro 2021].

Em 1948, Terzaghi e Peck instituíram um terceiro método de resistência à penetração que veio a ser conhecido internacionalmente como o SPT – Standard Penetration Test, extremamente utilizado no país até os dias de hoje (FALCONI, p. 37). A partir deste período muitos estudos foram realizados para o desenvolvimento e a qualificação da sondagem SPT.

Na cidade de São Paulo e no Rio de Janeiro grandes desafios foram enfrentados pelos engenheiros no sentido de solucionar problemas resultantes de recalques de fundação devido a diferentes tipologias e composições de solo (FALCONI, 2019, p. 39). Como exemplares, o caso do edifício Banespa (1947), em São Paulo, com o rompimento de estacas já preparadas devido à suspensão de 70 cm do solo argiloso rijo; o caso Edifício da Companhia Paulista de Seguros (1956), na rua Libero Badaró, no centro de São Paulo com recalques consideráveis em solo de silte mole, sendo necessário o congelamento do solo até 20 metros de profundidade para a perfuração de poços no lado da camada mole; o caso dos edifícios altos ao longo da orla da cidade de Santos, SP onde foram observados recalques devido à espessa camada de argila marinha mole sob a camada superficial de areia, sendo necessário a construção de estacas profundas e, sobre estas, uma *viga Vierendeel* de transição que incorporaria os pilares do prédio, permitindo assim a elevação com macacos hidráulicos; o caso do Teatro Municipal do Rio de Janeiro (1909) que foi construído sobre mais de 1.000 estacas de 8 metros de comprimento, de madeira nobre, mais precisamente, maçaranduba, com seção de 40 x 40 cm e espaçamento de 1,5 a 2,0 metros tendo sido vistoriadas e investigadas, em 1969, pelo professor Fernando Barata[8] que relatou estarem em perfeito estado de conservação por terem permanecido submersas (FALCONI, p. 42); inúmeras obras de pavimentação, projetos de fundação e obras de terra foram executadas por firmas privadas no estado do Rio de Janeiro e em todo o território nacional como exemplo a empresa “Estacas Franki[9] ”; a construção do Aeroporto Santos Dumont (1941), no Rio de Janeiro; a construção do Edifício Marquês de Herval (1953) na Avenida Rio Branco, Rio de Janeiro que comportava escavações com rebaixamento do lençol d’água para subsolos até 9 metros de profundidade

[8] **Fernando Barata**, célebre especialista geotécnico da época. **Engenheiro civil formado em 1950** pela Escola Nacional de Engenharia, doutor em ciências físicas e matemáticas pela Universidade do Brasil (UFRJ) e professor emérito da UFRJ. Trabalhou no Departamento de Estradas e Rodagens (DER) e na Secretaria de Obras de 1950 a 1985. Em sua atuação associativa, se destaca como ex-presidente da ABMS e da A3P, Conselheiro do Clube, membro fundador da Academia Nacional de Engenharia, entre outras entidades.

[9] **Primeira firma no Brasil** que se dedicou especificamente a fundações, baseando-se em conhecimentos de mecânica dos solos. Instalada no Rio de Janeiro, em 1935, sob a direção do engenheiro Pierre Moreau, belga, que no início de 1940 contratou o engenheiro Antônio José da Costa Nunes para orientá-lo nas questões de geotecnia (FALCONI, 2019, p. 43).

e adjacentes a fundações rasas de prédios antigos e no início da década de 50, Refinaria de Petróleo Duque de Caxias – REDUC, na Baixada Fluminense tendo sido cravadas estacas de diferentes tipos como pré-moldadas de concreto, metálicas, de madeira, mistas e do tipo Franki além de tubulões a ar comprimido no porto da REDUC. Nessa mesma década, é criada a ABMS[10] – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS, 2022).

Na década de 60, novas exigências surgiram para o projeto e execução de fundações de torres de eletricidade e hidroelétricas e, conjuntamente, uma série de intensas pesquisas, seminários e conferências que serviram de alavancagem para que, a partir da década de 80, o setor de engenharia dos solos adquirisse uma notável autonomia nacional, destacando-se as contribuições dos engenheiros Aoki, Niyama e Velloso (FALCONI, 2019, p. 45). É também neste período que se iniciaram as discussões sobre a interface entre engenharias de solo e as estruturas, tendo sido manifestado o tema, pela primeira vez, no 10º Congresso Brasileiro da ABMS à cargo do engenheiro Samuel Chamecki. Com o desenvolvimento e a disseminação da computação eletrônica os estudos solo-estrutura puderam avançar significativamente, como exemplo, os trabalhos de análise com elementos finitos, originários de setembro de 1974, durante o Seminário Brasileiro do Método de Elementos Finitos Aplicado à Mecânica dos Solos, no Rio de Janeiro, organizado na COPPE[11].

2.2. Solos

A maioria dos sistemas de classificação de solos desenvolvidos para o universo da engenharia, têm como base propriedades e índices simples, tais como a distribuição granulométrica e a plasticidade, entretanto, nenhum sistema pode ser considerado definitivo uma vez que não pode abarcar todos os elementos e aplicações possíveis.

Compostos por um arranjo de partículas minerais ou orgânicas onde estão presentes **ar** e **água** em diferentes proporções, os solos podem ser classificados, basicamente, em dois tipos, os quais são: solos grossos – areias e pedregulhos e solos finos – argilas e siltes.

[10] A **ABMS** é uma associação técnico-científica sem fins lucrativos, de grande tradição na engenharia brasileira. Fundada em 1950, a ABMS congrega no Brasil os profissionais de várias áreas de geotecnia. A ABMS é a representante oficial do Brasil nas sociedades geotécnicas internacionais: ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), ISRM (International Society for Rock Mechanics) e ITA (International Tunnelling Association). Fonte: (ABMS A. B., 2022).

[11] Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da UFRJ.

O solo ao ser submetido a esforços, comporta-se como um meio pseudo-elástico. A título de exemplo de carregamento do solo por meio de uma fundação, o maciço sofre deformações de acordo com os esforços aplicados. A água é pouco compressível em relação à estrutura de um solo; ao se considerar uma sobrecarga de 1 Kgf/cm², a variação unitária compressiva do solo é da ordem de 1/22.000 para a água, de 1/1.000 para as areias e de 1/100 para as argilas (MORAES, 1976, p. 8).

A distinção entre as categorias de solos está relacionada com as dimensões das partículas que os compõem. Segundo Carlos de Souza Pinto (FALCONI, 2019, p. 73), "o solo é constituído de partículas. Parte das forças aplicadas ao solo são transmitidas por meio de massa, de partícula a partícula". A areia detém a maior granulometria e não possui propriedade coesiva. Em contrapartida, a argila possui o menor tamanho dentre as três. Os solos possuem propriedades distintas decorrentes da granulometria das partículas sendo o solo arenoso altamente permeável à água e o maciço argiloso muito pouco permeável.

> Grande parte da superfície da Terra, quer nas áreas emersas, quer nas vastas regiões submersas, **está coberta por solos ou maciços terrosos**. Nas áreas emersas, a espessura da camada de solos sobre o substrato rochoso é particularmente importante nas zonas geologicamente mais recentes, como no litoral dos continentes e junto aos vales formados pelos grandes rios. [...] Esses maciços são formados por partículas minerais, que resultaram da desintegração física e da decomposição química das rochas, podendo também conter matéria orgânica. **Os espaços não ocupados** pelas partículas são designados como **poros ou vazios**, os quais podem conter **água e ar, de forma isolada ou conjunta** (FERNANDES, 1994, p. 12) [grifo nosso].

O silte está classificado entre o solo arenoso e o solo argiloso. Possui uma granulometria intermediária situada entre ambos e, dependendo de cada caso, pode ser classificado mais proximamente do solo arenoso ou da massa argilosa e, por último, a rocha é caracterizada como um agregado mineral sólido, robusto, geralmente impermeável, com grande resistência a tensões (FALCONI, 2019, p. 56). A NBR 7250 (1982) confere que:

> Os solos na natureza são quase sempre constituídos pela mistura, em proporções variadas, das frações argila, silte, areia e pedregulho. Para sua classificação devem ser utilizados os critérios definidos anteriormente e concluindo-se pela descrição do solo conforme o comportamento da fração predominante a saber: de solos grossos (pedregulhos e areia) e de solos finos (siltes e argilas) (ABNT, NBR 7250, 1982).

A constituição mineralógica dos solos é formada a partir da **desagregação de rochas por ações física e químicas** resultando em partículas dependentes da composição da

rocha matriz. O quartzo, presente na maioria das rochas, é bastante resistente à desagregação e forma grãos de siltes e areias com diâmetro equivalente superior a 0,005 mm. Outros minerais também podem ser encontrados constituindo-se em frações silte e areia dos solos, tais como o feldspato, gibsita, calcita e mica, sendo o primeiro da lista o mais atacado pela natureza dando origem aos argilo-minerais, fração mais fina dos solos, geralmente, com diâmetro equivalente inferior a 2 µm (FALCONI, 2019, p. 56). Afim de melhor ilustrar as variedades de composição granulométricas do solo, a seguir, na Figura 1, pode ser conferido um diagrama adaptado da versão do triângulo de Feret, de utilidade limitada para a geotecnia e quase que exclusivamente utilizada na agronomia. É possível demonstrar as composições granulométricas de determinado solo de acordo com o percentual de **areia, silte** e **argila** presentes na amostra, tomando-se como 100% a soma total das frações dos três elementos. Abaixo, uma amostra de solo caracterizada que contém 20% de argila, 50% de silte e 30% de areia.

> **São inúmeros os processos que a natureza contempla para formar solos** a partir de maciços rochosos, como, aliás, o são também os processos em que rochas são formadas a partir de solos (FERNANDES, 1994, p. 31) [grifo nosso].

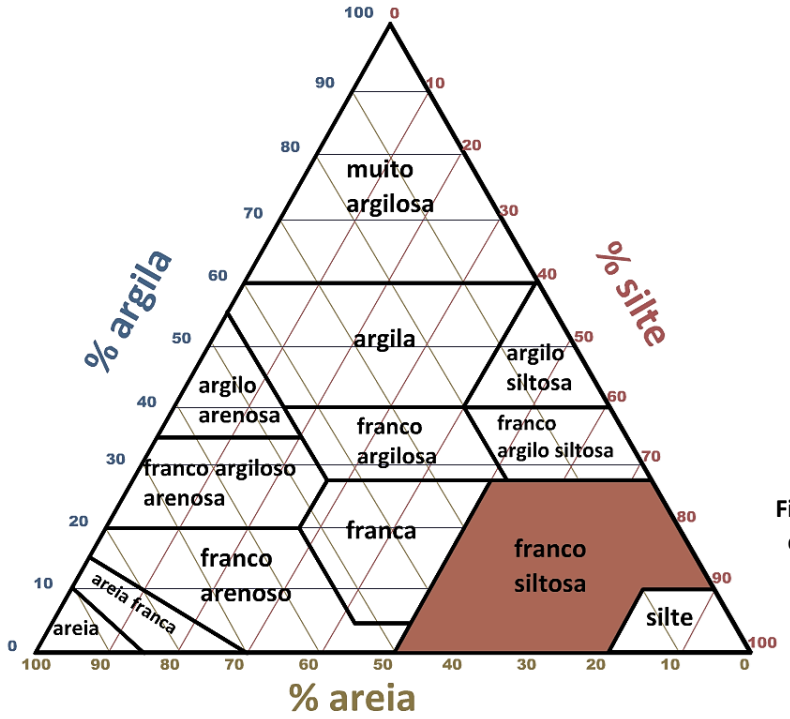


Figura 1: Triângulo de Feret adaptado; classificação granulométrica segundo (USDA, 2021). Adaptação para o português: (IFSC, 2021) [29 de outubro 2021].

Apesar da aparente "simplicidade" de classificação dos solos aqui desenhada, a massa que cobre o planeta possui uma extrema variedade de composições que torna o levantamento e a classificação para determinação da mecânica dos solos uma tarefa de alto grau de complexidade, **além de envolver uma gama enorme de aparatos tecnológicos e**

humanos para a realização dos ensaios e a subsequente coleta dos dados. Essas atividades precisam ser muito bem gerenciadas a fim de minimizar os custos da operação bem como garantir a qualidade dos ensaios e dos projetos. Em primeira mão, pode-se observar, em particular, o caso do elemento de fundação do tipo *estaca escavada de concreto moldável*. **Constitui-se em um sistema** (Figura 2) formado pelo elemento estrutural (estaca) e pelo elemento geotécnico (maciço que envolve a estaca) por meio dos quais é determinada a capacidade de carga do elemento de fundação (CINTRA & AOKI, 2010, pp. 12, 14).

Para a compreensão do problema físico da capacidade de carga, pode-se constatar o desenvolvimento de tensões resistentes ao longo do fuste e junto à sua ponta sendo possível separar a resistência em duas parcelas, em unidades de força: a resistência por atrito lateral (resistência lateral) da estaca contra o solo e a resistência da ponta contra a base do furo.

Figura 2: Detalhe concretagem de estaca escavada.
Fonte: (COTANET, 2021) [22 de outubro 2021].

Em que pese a existência de vários métodos que verifiquem a capacidade de carga do sistema de fundação por estaca, em muitos casos a verificação da resistência na base do furo (ponta da estaca) é tarefa complexa e dificultosa devido a vários fatores tais como a tipologia de solo, diâmetro e profundidade, limpeza e compactação, mobilização de ponta, desagregação do solo, etc.

> As fórmulas teóricas de capacidade de carga de elementos de fundação por estaca constituem um vasto capítulo da engenharia de fundações [...] Essa diversidade de proposições **decorre da dificuldade de ajustar um bom modelo físico e matemático à questão da ruptura em fundações profundas**. No caso das fundações rasas, é bastante razoável o modelo de ruptura geral estabelecido por Terzaghi em 1943, que, entre outras hipóteses, considera a sapata pouco embutida no terreno, a uma profundidade inferior à sua largura. Nesse caso, a ruptura implica o levantamento de uma parte do maciço de solo visível à superfície do terreno, e o consequente tombamento da sapata. **Em se tratando de fundações profundas, porém, tal modelo de comportamento físico é inaplicável** (CINTRA & AOKI, 2010, p. 16) [grifo nosso].

Em decorrência disto, a norma de projeto e execução de fundações definia que no caso específico de hélice contínua, estaca escavada mecanicamente, estacão, etc., a carga total admissível deveria ser no máximo 1,25 vezes a resistência do atrito lateral calculada na ruptura, ou seja, no máximo 20% da resistência total poderiam ser suportadas pela ponta da estaca o que equivalia a um mínimo de 80% a ser transferida para a resistência lateral. A edição prescrevia que, quando a estaca tivesse sua ponta locada em rocha e sendo possível a comprovação do contato de toda a sua seção transversal, o total da carga poderia ser absorvida pela resistência da ponta adotando-se, neste caso, um fator de segurança não inferior a 3 (CINTRA & AOKI, 2010, p. 41).

A nova revisão da Norma 6122 (ABNT, 2019) admite que a resistência da ponta tenha como limite superior o valor da resistência por atrito lateral:

- $RP < RL$ e $Padm = (RP + RL) / 2$

Caso o contato efetivo entre o concreto e o solo firme ou rocha na ponta da estaca não possa ser assegurado pelo executor, o projeto deverá ser revisto com o ajuste dos comprimentos das estacas na verificação do ELU (Estado Limite Último), à condição de resistência nula na ponta (desconsidera-se a resistência de ponta):

- $Rp = 0$ e $Padm = RL / 2$

Por meio de um levantamento empírico, não seria exagero deduzir que a ocorrência deste tipo de situação, estaca sobre rocha, é minoritariamente ocorrente nas fundações dos edifícios brasileiros. A inexpressiva ou quase inexistente utilização da resistência na pontas das estacas, em muitos casos, acaba prejudicando a racionalização do projeto de fundações uma vez que a superestrutura é decorrente das estruturas de solo. (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 14).

2.3. Instrumentação

Ensaio de Placa

Importante exemplar de análise da resistência do solo é o método de Ensaio de Placa. Consiste em uma tipologia por meio da qual se estabelece as características relacionadas à carga e o deslocamento/recalque para fundações superficiais, ou seja, de fundações diretas por meio das quais a carga é transmitida pela base da fundação com profundidade inferior a 03 metros, não sendo válido para fundações profundas. As informações são obtidas com a placa assentada em diversos locais do terreno onde, ao final do teste, são gerados gráficos que relacionam as cargas aplicadas sobre a placa – placa sobre solo e as respectivas penetrações (gráfico carga x deslocamento).

Este tipo de ensaio, geralmente, é mais econômico que as verificações em verdadeira grandeza sendo possível analisar o comportamento do terreno por meio da submissão de cargas onde são verificados o suporte e estabilidade que se dá entre o solo e o substrato da fundação (FALCONI, 2019, p. 232).

A norma que regulamenta os padrões e procedimentos para o *Ensaio de Placa* é a NBR 6489 – Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação (ABNT, 1984). O ensaio de placa é um método em que são estimadas as tensões admissíveis de determinado solo e os resultados obtidos são compilados graficamente por meio de eixos de *tensão* e *deslocamento* bem como outros dados relativos à montagem da prova, como locação em planta e elevação do terreno.

O ensaio consiste na aplicação de cargas sobre determinada superfície do solo natural que se encontre na mesma cota da fundação superficial prevista em projeto. Por meio de uma placa rígida de aço de formato circular de área não inferior a 1/2 metro quadrado, cargas verticais são aplicadas no centro da placa em estágios sucessivos de no máximo 20% da taxa admissível provável do solo momento em que são medidas as deformações para compilação no gráfico de *tensão* x *deslocamento*, possibilitando a determinação de diversos aspectos, como a compactação do aterro, sub fundação ou solo (Figuras 3 e 5). Os recalques são conhecidos com a aplicação de 3 ou 4 deflectômetros de precisão de 0,01 mm posicionados estrategicamente e realizando a média entre todas as leituras (MORAES, 1976, p. 14).

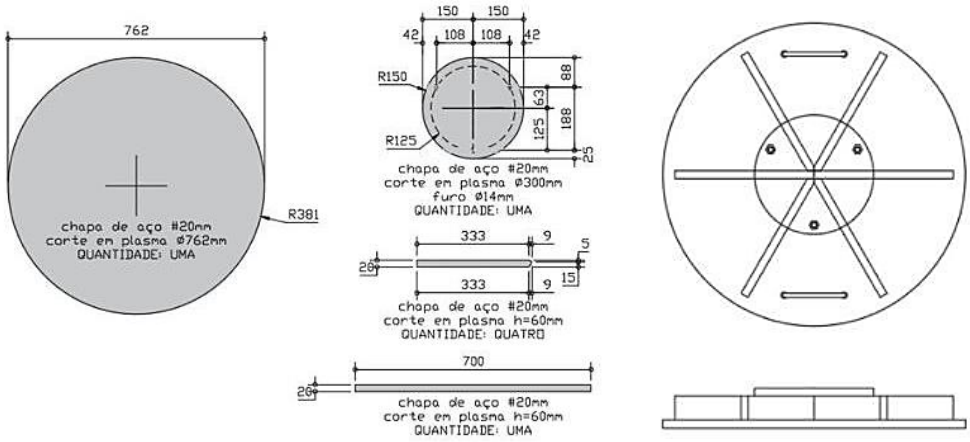


Figura 3: Detalhe projeto Ensaio de Placa em aço. Fonte: Desenho do Autor.

O trabalho de ensaio efetua uma prova de carga com um modelo reduzido da fundação superficial desejada tendo sido uma das primeiras aplicações empíricas *in situ*. Visa a obtenção de informações de comportamento do solo bem como determinar as propriedades relacionadas à deformação e ruptura da amostragem.

Além destas informações, a realização do ensaio, em grande parte das vezes, define a tensão de ruptura do solo podendo também ser utilizados em conjunto com outros ensaios geotécnicos. No caso de fundações superficiais, possibilita avaliar qual a tensão limite passível de aplicação no solo sem que seja atingida a sua ruptura ou recalques indesejados.

Mais detalhadamente, o processo executivo consiste na aplicação de uma carga vertical sobre o solo nivelado e em estado natural por meio de um macaco hidráulico estabilizado e um contrapeso[12] (Figura 4) para posterior cálculo da deflexão ou penetração da placa na superfície. A partir dessas informações é possível determinar o módulo de compressão, a constante de mola e o módulo de reação.

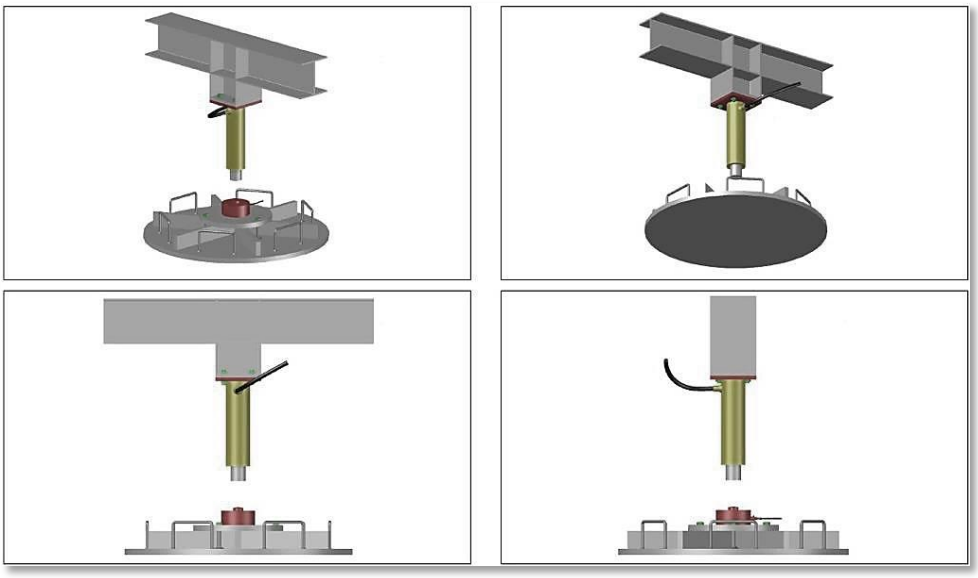


Figura 4: Detalhe placa sob macaco hidráulico (carga vertical).
Fonte: Desenho do Autor.

[12] Usualmente, utiliza-se como **contrapeso caminhões caçamba** carregados com terra ou agregados de concreto.

Figura 5: Detalhe da aplicação do contrapeso com caminhão caçamba.
Fonte: (GEOPROVA, 2021). [23 de outubro 2021].

É necessário que seja realizada uma distribuição e localização qualificada dos pontos onde serão executados os ensaios de placa uma vez que, geralmente, é utilizado em conjunto com outros métodos de verificação de resistência como, por exemplo, a sondagem a percussão (SPT) que fornece inúmeras informações, tais como o tipo de solo, estratigrafia, posição do nível d'água e índice de resistência à penetração (NSPT).

De um modo geral, o ensaio de placa utiliza um conjunto de equipamentos composto pelos seguintes sistemas:

a) Sistema de reação;
b) Sistema de transmissão de cargas;
c) Sistema de leitura.

Observando-se a aplicação de carga em estágios sucessivos de no máximo 20% da taxa admissível provável do solo e aplicados em intervalos duplicados de tempo (1, 2, 4, 8, 16 minutos, etc.), em cada estágio de carga, são lidos e anotados os recalques. Importa lembrar que o acréscimo de carga somente deve ser aplicado após a estabilização dos recalques e, caso não ocorra a ruptura após atingida a carga máxima no ensaio, a carga deve ser mantida e estabilizada por, no mínimo, 12 horas.

O descarregamento, similar à aplicação das cargas, deve ser realizado em estágios sucessivos não superiores a 25% da carga total do sistema onde também são

anotados os recalques; em cada estágio deve ser mantida a carga até que os recalques sejam estabilizados.

Em resumo, o ensaio aplica-se a terrenos cuja deformabilidade pode ser considerada imediata, basicamente em duas categorias:

a) Terrenos com variados graus de saturação - pedregulhosos, arenosos e silto-arenosos;

b) Terrenos com baixo grau de saturação - argilosos e silto-argilosos.

Duas metodologias podem ser adotadas para análise e interpretação dos dados: *critério de recalque* e *critério de ruptura*. A primeira preconiza que a tensão admissível deve ser menor ou igual à tensão correspondente ao recalque que foi determinado como admissível e a segunda metodologia define que a tensão admissível deve ser menor ou igual à tensão de ruptura que foi atingida pelo ensaio, dividido por um fator de segurança.

Índice de Suporte Califórnia – ISC (CBR)

Diversos métodos e instrumentos de ensaio, atualmente, estão disponíveis para determinação da tipologia e da capacidade de resistência dos solos, tal como o ensaio CBR[13] ou Índice de suporte Califórnia – ISC desenvolvido a partir da década de 1920 pelos engenheiros Ralph Proctor e O. J. Porter que pertenciam ao Departamento de Estado de Rodovias do estado da Califórnia, EUA. À época, os pavimentos rodoviários do estado americano (Figura 6) eram estruturados com uma camada de material granular (base) sobre o subleito e uma mistura asfáltica como revestimento final, entretanto, sem um embasamento científico de dimensionamento.

O ensaio, de maneira geral, verifica algumas questões de extrema importância no dimensionamento de pisos e pavimentos em fundação direta com resultados na preservação de possíveis manifestações patológicas relacionadas à capacidade de suporte de carga e possíveis expansões do solo resultando em estruturas estradais economicamente viáveis (CAPUTO, 1988, p. 178). A indústria automobilística americana estava em franca expansão e diante das frequentes degradações dos pavimentos rodoviários locais os engenheiros decidiram investigar as causas do problema.

[13] California Bearing Ratio.

Figura 6: Rodovia no estado da California, EUA, década 1920.
Fonte: (STRINGFIXER, 2021) [23 de outubro 2021].

Após estudos mais minuciosos das patologias, verificaram que a causa dos colapsos era devido à má compactação do subleito e da drenagem que se demonstrava deficitária para proteção dos pavimentos. De acordo com Porter, o ensaio foi desenvolvido a fim de avaliar o potencial de ruptura do subleito (afundamentos plásticos), uma vez que essa era a patologia mais comumente observada nas rodovias naquele período.

Com o diagnóstico produzido, os cientistas puderam chegar à conclusão de que durante as construções dos corpos estradais seria necessário um rigoroso controle de espessura e compactação do subleito.

Verificaram que de acordo com os parâmetros de resistência do solo, seriam definidos a espessura da base (camada granular) e da cobertura asfáltica a fim de que pudesse ser evitado o cisalhamento dos pavimentos, ou seja, em solos mais resistentes a camada da base poderia conferir menores espessuras e em solos mais pobres seria necessária uma camada mais espessa. Em 1939, foi desenvolvido em laboratório um método subsequente e complementar ao ensaio de compactação normal criado anteriormente por Proctor[14] que simulava as condições de campo, tais como, umidade, massa específica, carregamento e sobrecarga do pavimento sobre o solo com a imersão e saturação do material recolhido

[14] Conhecido como **Ensaio Normal de Proctor** (ou AASHTO Normal). A metodologia foi desenvolvida pelo engenheiro **Ralph Proctor** em 1933 e normatizada nos Estados Unidos pela A.A.S.H.O - American Association of State Highway Officials e no Brasil pela norma ABNT NBR 7182/1986 - Ensaios de Compactação, sendo um dos principais métodos de estudo e controle de qualidade de aterros de solo compactado.

simulando o degelo no período da primavera (Figura 7); usualmente conhecido como CBR – California Bearing Ratio (CAPUTO, 1988, p. 175).

Finalmente, em 1966, o método foi introduzido no Brasil pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza tendo obtido grande disseminação no país. Atualmente, é normatizado pelas normas NBR 9895 (ABNT, 2016), DNER-ME 162/94 (1994) e DNIT 172/2016 - ME (2016).

Por definição, o Índice de Suporte Califórnia[15] expressa um **método para avaliar a relação entre a resistência à penetração de um pistão padronizado em amostras compactadas do solo em análise (relação tensão x deformação) e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma massa de brita graduada padrão**, isto é, compara as propriedades mecânicas do solo com as propriedades de um tipo de grânulo padrão. Em outras palavras, verifica se a composição do solo em questão poderá vir a ser utilizada ou se necessitará de qualificações específicas (RIBEIRO, 2008, pp. 10, 23).

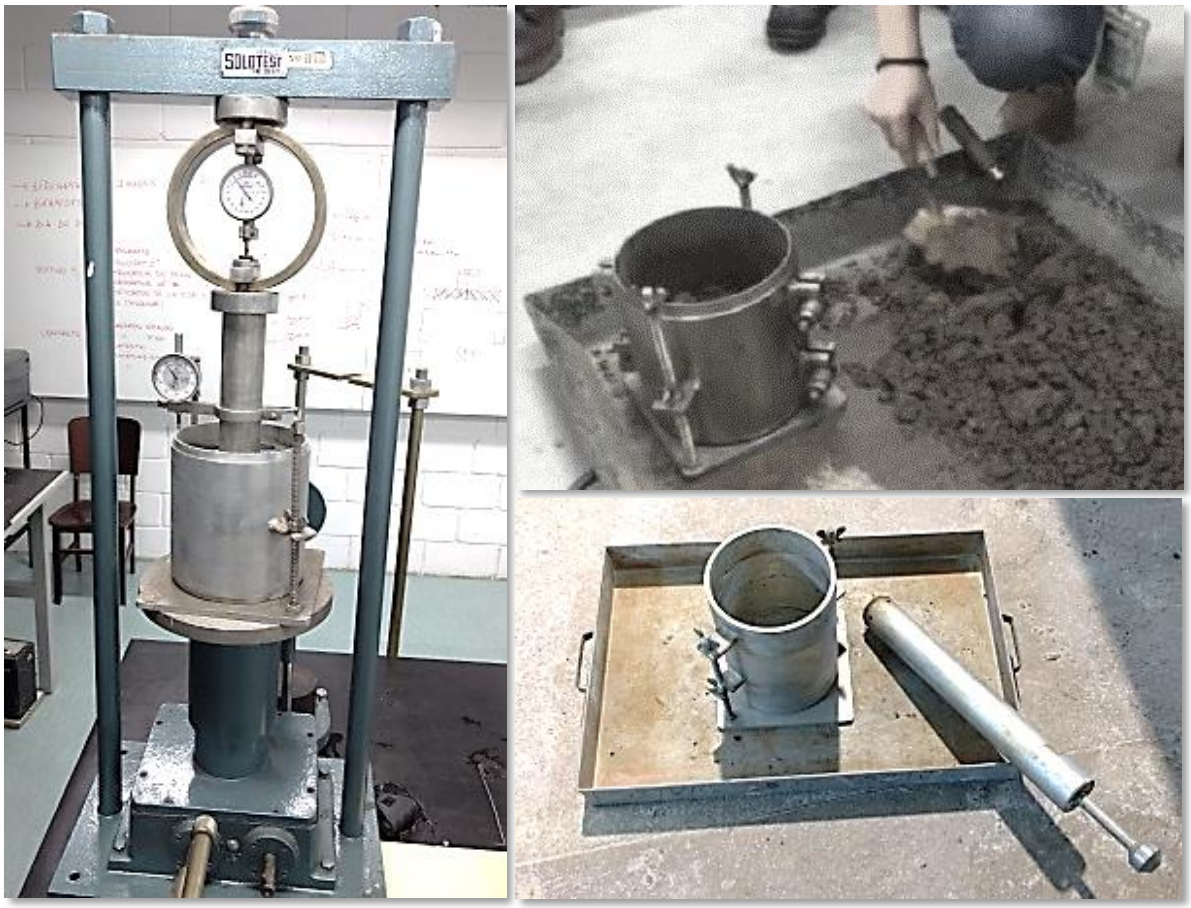


Figura 7: Detalhe da preparação do solo para posterior compactação Proctor no cilindro e prensa com deflectômetros. Fonte: (ALÉMDAINÉRCIA, 2021) [25 de outubro 2021].

[15] Em inglês: California Bearing Ratio (CBR).

Os resultados são apresentados de maneira percentual. Como exemplo, um valor de CBR de 10% significa dizer que a resistência à penetração do solo em análise é de 10% do valor da brita padronizada. (ABNT, NBR 9895, 2016).

O ensaio também possibilita a obtenção do índice de expansão do solo durante a saturação por imersão do corpo de prova que se dá pelo período de 96 horas.

Definida na norma, a sobrecarga padrão assentada sobre a superfície do solo compactado no cilindro é de 10 libras que equivale a 4,536 Kg e tem como finalidade simular a carga das camadas que residem sobre o subleito. O pistão para a aplicação de carga possui área de contato de aproximadamente 19,36 cm², aproximadamente 4,96 cm de diâmetro e é penetrado no corpo de prova (solo compactado) com velocidade de carga de 0,05" por minuto equivalente a 1,27 mm por minuto.

O método pode ser dividido em 03 fases, as quais são (CAPUTO, 1988, p. 179):

a) Determinação da umidade ótima e do peso específico máximo;
b) Determinação das propriedades expansivas do material;
c) Determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Normalmente, inicia-se o ensaio com a compactação de 05 corpos de prova. É utilizada a energia de compactação padrão (Proctor), normatizada pela NBR 6457 (ABNT, 1986) que descreve com detalhes o método para preparação de amostras de solo para os ensaios de compactação e caracterização.

> **A compactação** é o processo pelo qual uma massa de solo constituída por partículas sólidas, água e ar vê reduzido o seu índice de vazios por redução do volume da sua fase gasosa conseguida à custa da aplicação repetida de cargas. **A compactação envolve uma expulsão de ar** sem uma significativa variação da quantidade de água presente no solo. Assim, o teor em água (razão do peso da água pelo das partículas sólidas) é normalmente o mesmo para uma dada massa de solo solta e descompactada e para a mesma massa num estado mais denso conferido pela compactação. **Já que a quantidade de ar é reduzida sem variação do teor em água, o grau de saturação cresce.** No entanto, a expulsão de toda a fase gasosa por compactação não é possível, não se atingindo, pois, a saturação do solo. [...] Em regra, a compactação aumenta a resistência e reduz a deformabilidade e a permeabilidade dos solos. (FERNANDES, 1994, pp. 1, Cap VI) [grifo nosso].

Ao final dos trabalhos de compactação, os resultados são representados em um gráfico percentual de Densidade x Umidade como pode ser observado na Figura 8, a seguir.

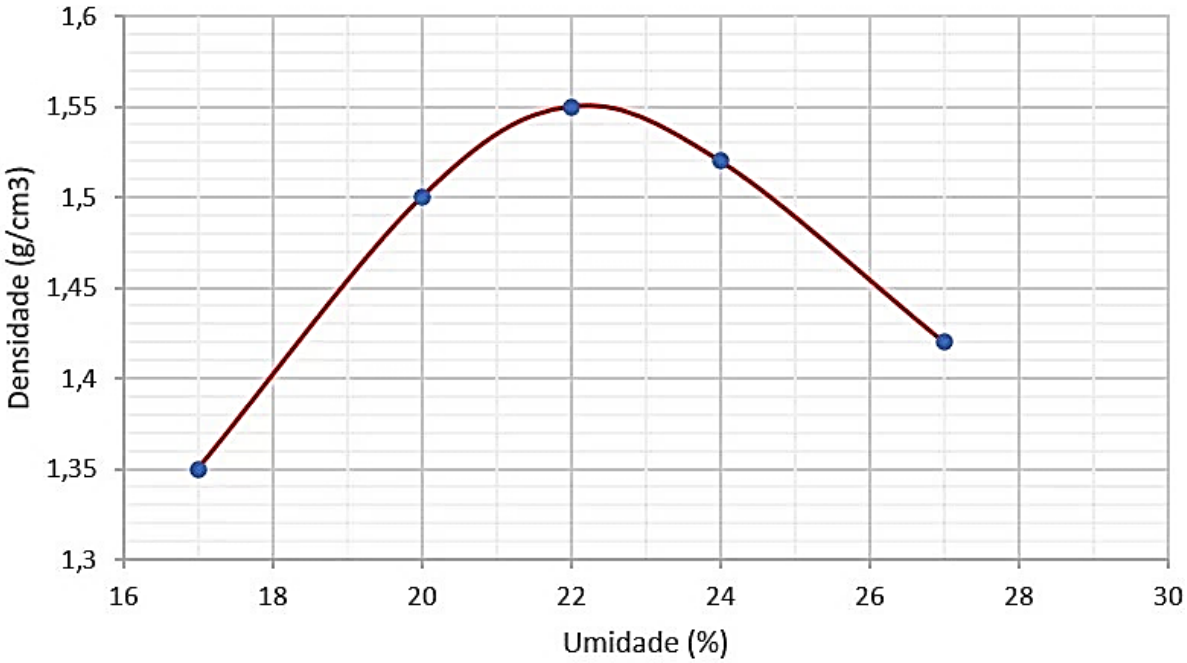


Figura 8: Exemplo de Gráfico Densidade x Umidade.
Fonte: (BIOPDI, 2021) [25 de outubro 2021].

A fase posterior à compactação consiste na imersão das amostras em uma piscina de água pelo período mínimo de 04 dias. Esta ação permite aferir a capacidade de expansão do solo em análise. Um aparelho medidor de deslocamento demonstra as movimentações expansivas do solo que se encontra dentro do cilindro padrão, anotadas a cada 24 horas.

A expansão é apresentada em relação ao valor inicial anotado previamente ao ensaio por meio do gráfico Expansão x Umidade conferido na Figura 9, a seguir.

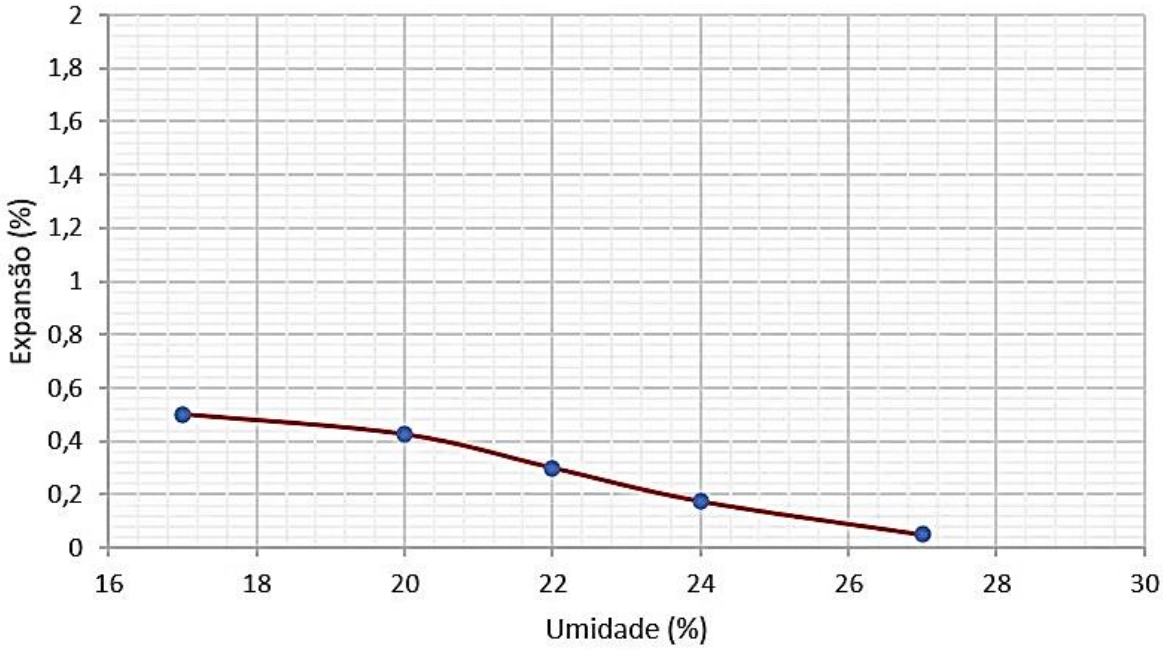


Figura 9: Exemplo de Gráfico Expansão x Umidade.
Fonte: (BIOPDI, 2021)[25 de outubro 2021].

Após o término do período de embebição, cada corpo de prova é retirado da imersão com o devido escoamento da água por 15 minutos momento em que os corpos de prova poderão prosseguir à etapa de penetração. As mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão são colocadas no topo de cada corpo de prova e alocados na prensa de ensaio CBR onde são tomadas a aferições de resistência à penetração do material a uma velocidade de 1,27 mm/min durante 10 minutos (ABNT, NBR 9895, 2016).

Os resultados são também compilados em um gráfico Penetração (carga/pressão) x Umidade, também em percentuais como pode ser observado na Figura 10, a seguir.

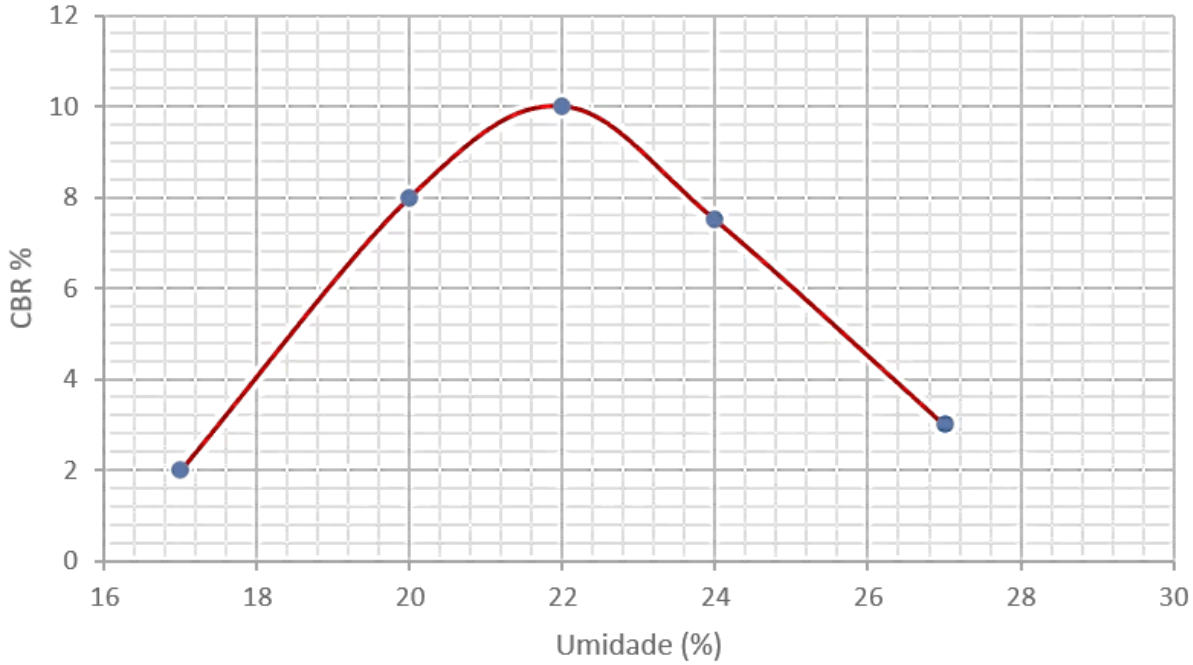


Figura 10: Exemplo de Gráfico CBR - Penetração (carga/pressão) x Umidade.
Fonte: (BIOPDI, 2021) [25 de outubro 2021].

A saturação das amostras e a obtenção do ISC procura reproduzir a condição mais desfavorável que possa ocorrer no leito, que é a de eventual saturação do material *in loco*.

> As pressões, assim obtidas, expressas em porcentagens das "pressões padrões", denominam-se índices de suporte Califórnia (ISC) ou Índices Californianos de Capacidade de Carga (CBR). [...] Geralmente o ISC empregado no projeto de pavimentos flexíveis é o que corresponde à penetração de 0,1", a menos que o índice para 0,2" seja maior, caso em que este será o adotado. Com os índices obtidos para 12, 26 e 55 golpes, traça-se a curva "Peso Específico Seco - ISC". O valor do ISC final, para cálculos posteriores, será o correspondente a 95% do peso específico máximo, obtido anteriormente (CAPUTO, 1988, p. 181).

O ensaio CBR, voltado ao dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis é muito bem difundido nos laboratórios brasileiros por se tratar de um método relativamente barato e de grande qualidade técnica muito bem adaptado aos tipos de solo do país. A Figura 11, a seguir, apresenta as camadas básicas projetadas para um corpo estradal convencional.

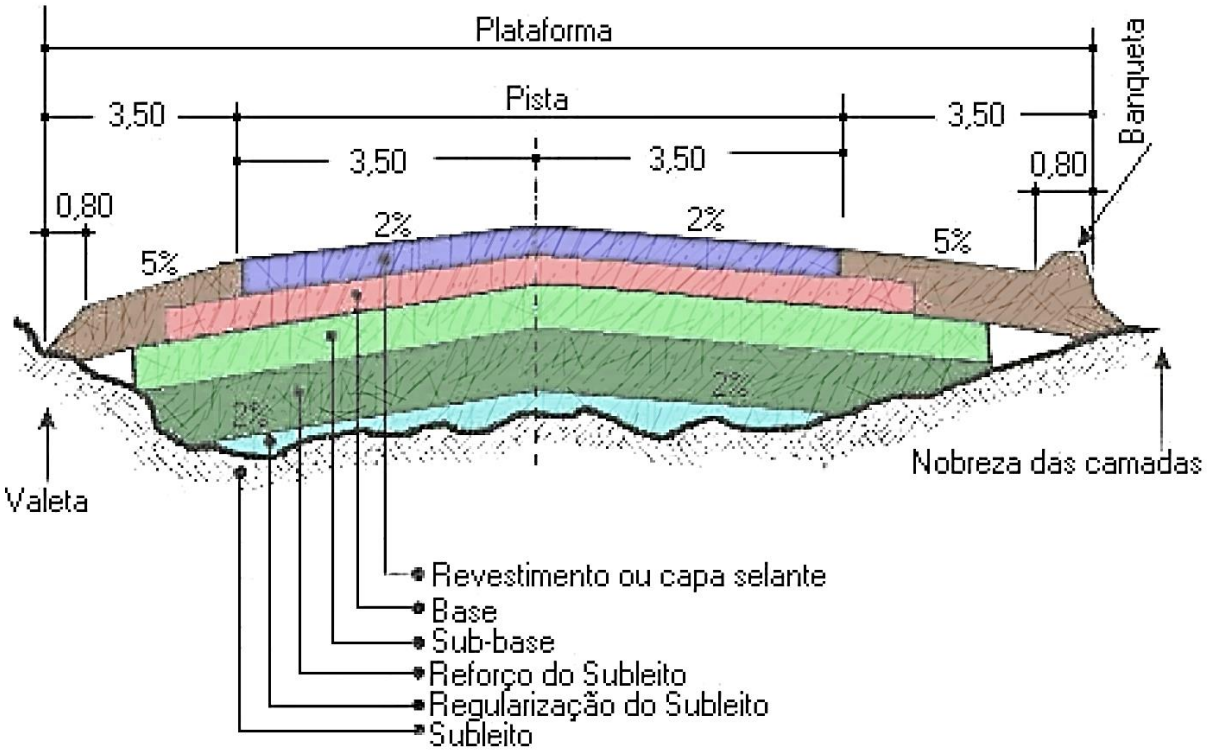


Figura 11: Componentes atualmente utilizados em corpo estradal flexível. O ensaio CBR permite que sejam definidas as camadas e ações de execução. Diagrama esquemático/corte.
Fonte: (MARQUES, 2006, p. 3).

Penetrômetro Dinâmico – DCP (DPL)

Trata-se de um ensaio no qual um técnico realiza a cravação de uma haste de metal de ponta cônica no solo por meio da queda de um peso (martelo) e a cada golpe efetuado, a penetração é registrada para a determinação da resistência do solo.

Pode-se dizer que é um método similar à sondagem simples por percussão – SPT[16], em escala bem menor. Camadas com diferentes resistências podem ser detectadas e, portanto, o ensaio pode ser utilizado para avaliar possíveis mudanças na tipologia do solo ou identificar a compacidade de um determinado material. Ensaio de uso mais específico e restrito devido à simplicidade de manipulação e a baixa profundidade alcançada pela haste no solo, o Cone de Penetração Dinâmica - DCP[17] é um método que vem sendo estudado desde 1956 como alternativa para obtenção do índice de resistência do solo *in situ*, com o objetivo de alcançar resultados de forma mais rápida e econômica em situações de controle (GUNARATNE, 2014, p. 95).

Surgiu como uma ferramenta de controle da **capacidade de carga de fundações diretas** bem como na **compactação de aterros**, entretanto, não pode ser utilizado em qualquer tipo de solo uma vez que altas resistências à penetração podem vir a danificar o equipamento. Inúmeros autores revelam as principais vantagens do ensaio como o baixo custo do equipamento, a simplicidade de operação, a agilidade na obtenção dos resultados e a possibilidade de realização de uma maior quantidade de pontos de ensaio.

É um ensaio capaz de identificar diferentes camadas de solo a partir da *relação entre as profundidades obtidas e o número de golpes necessários para as respectivas penetrações*[18] até o alcance de uma determinada profundidade. Caracteriza-se por constituir-se em um ensaio relativamente simples que pode ser realizado por apenas duas pessoas não sendo necessários mais do que 20 minutos para um procedimento completo.

Constituído, basicamente, por 07 elementos, o equipamento de Penetração Dinâmica possui um punho com esbarro superior, um martelo de 8 Kg, duas hastes sendo uma de 16 mm e a outra com 25 mm de diâmetro, um esbarro inferior, uma régua graduada em

[16] Os detalhes da sondagem serão demonstrados e discutidos mais adiante.
[17] Dynamic Cone Penetrometer – DCP. **Cone de Penetração Dinâmica**.
[18] **Índice de Penetração** – DN.

milímetros e um cone que após a devida montagem permitem o acionamento do peso apenas na direção vertical (Figura 12).

Figura 12: Equipamento Penetrômetro e detalhe do procedimento. Várias versões de Martelo estão disponíveis: Penetrômetro Dinâmico Leve (m=10kg); Penetrômetro Dinâmico Médio (m=30kg); Penetrômetro Dinâmico Pesado (m=50kg) e Penetrômetro Dinâmico Super Pesado (m=63,5kg). Fonte Imagem: (RELIANCE, 2021) [03 de novembro 2021].

O Penetrômetro pode ser utilizado para a verificação e o controle de qualidade de compactações de pavimentos baseados em ensaios de laboratório. Neste mesmo sentido, Lima (2000) demonstrou que o ensaio dinâmico por cone pode ser um instrumento de elevado potencial de uso em obras viárias, passível de ser empregado no controle da qualidade de compactação de camadas estruturais e de aterros ISC (BERTI, 2005, p. 43).

Aguiar (AGUIAR, BESSA, CARNEIRO, & PEIXOTO, 2020, p. 4), em publicação, ressalta importantes correlações entre o índice de penetração - DN, obtido pelo ensaio Penetrômetro Dinâmico, com o Índice de Suporte Califórnia – CBR, reafirmando a busca contínua por parte dos pesquisadores de correlação entre métodos de ensaio como atividades de controle de qualidade nas obras.

> O DCP caracteriza-se, relativamente, como um ensaio simples, necessitando de no mínimo duas pessoas para o procedimento e aproximadamente quinze minutos para realizá-lo. [...] Almeida e Barroso encontraram correlações DN x ISC que apresentaram, em sua maioria, bons coeficientes de determinação, **podendo ser utilizadas no controle de qualidade de obras** que se utilizem dos respectivos materiais estudados (AGUIAR, BESSA, CARNEIRO, & PEIXOTO, 2020, p. 3) [grifo nosso].

GeoGauge – Medidor de Solos Compactados

Equipamento eletrônico não radioativo[19] é um instrumento portátil que fornece de maneira simples, rápida e precisa as propriedades mecânicas de camadas compactadas de aterro e bases granulares do solo preparado. Utilizado em campo como controle de qualidade de compactação de subleitos, bases e pavimentos com base no módulo do material ou rigidez. Expressa valores por meio do Módulo de Resiliência[20], podendo ser correlacionado com outras variáveis mediante o uso de modelos específicos.

Trata-se de um equipamento utilizado em corpos estradais para o controle de qualidade dos serviços de construção das vias otimizando os trabalhos de estabilização e compactação das camadas, ou seja, efetua um teste de medida de rigidez do solo diretamente no local da obra como um controle tecnológico alternativo no sentido de qualificar os serviços de pavimentação. Foi desenvolvido com tecnologia militar do exército americano pela empresa Humboldt Manufacturing Company estabelecendo um meio direto de medida das propriedades dos materiais e das estruturas das camadas dos pavimentos (BATISTA, 2007, p. 49).

O aparelho mede a impedância mecânica na superfície do chão, em outras palavras, mede a força transmitida ao solo e a deflexão da superfície resultante como uma função de frequência. Impõe deslocamentos muito pequenos ao solo (< 1,27 x 10^{-6} m ou < 0,00005") a 25 frequências de estado estacionário entre 100 e 196 Hz. A rigidez é determinada em cada frequência e apresentadas a cada 25 frequências. Todo o processo leva cerca de um minuto para ser executado. Nessas baixas frequências, a impedância na superfície tem rigidez controlada e é proporcional ao módulo de cisalhamento do solo. Com a razão de Poisson, o módulo de cisalhamento pode ser derivado (HUMBOLDT, 2021, p. 4).

[19] Não faz uso de elementos radioativos para leitura do solo diferentemente de outros equipamentos similares que utilizam tecnologia/método nuclear.

[20] **O Módulo de Resiliência** pode ser determinado por meio de **ensaios triaxiais de cargas repetidas** e é definido como a **razão entre a tensão desvio** e a **deformação elástica recuperável** ou resiliente. O Termo resiliência significa energia armazenada em um corpo deformado elasticamente, que é desenvolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações, ou seja, é a energia potencial de deformação. O conhecimento do módulo de resiliência dos materiais constituintes do pavimento e do seu subleito é indispensável quando o objetivo é projetá-lo, ou analisar o seu comportamento frente à solicitação das cargas rodoviárias (https://www.suportesolos.com.br/ em 02 de novembro 2021). Os ensaios triaxiais de cargas repetidas são descritos pelo DNIT por meio de da norma DNIT 134/2010 – ME – Pavimentação – Solos – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensaio.

Aparato portátil de fácil logística com operação, leitura e resultados apresentados em menos de dois minutos podendo ser utilizado para determinar a qualidade de camadas compactadas com ou sem estabilizantes tais como, cimento e cal, dentre outros.

Não necessita de fonte de energia tradicional uma vez faz uso de 06 pilhas tipo "D", 1,5 V que estabelece uma média de autonomia de 1.000 a 1.500 ensaios. O aparelho é controlado por um display de cristal líquido, teclado de membrana, comunicação por infravermelho e alcance médio de ensaio de 23 a 31 cm de profundidade no solo. Atua com a emissão de 25 frequências diferentes que aplicadas sobre o solo causam pequenas deformações por meio das quais é possível determinar o Módulo de Resiliência a ser correlacionado com outros ensaios (Figura 13).

> Conforme informações técnicas apresentadas pelo fabricante, o Geogauge[21] mede a impedância da superfície do solo, ou seja, o equipamento trabalha medindo a tensão imposta à superfície do solo e a velocidade resultante da superfície, como uma função do tempo. A rigidez, uma razão entre força e reflexão, resulta diretamente da medida de impedância (BATISTA, 2007, p. 50).

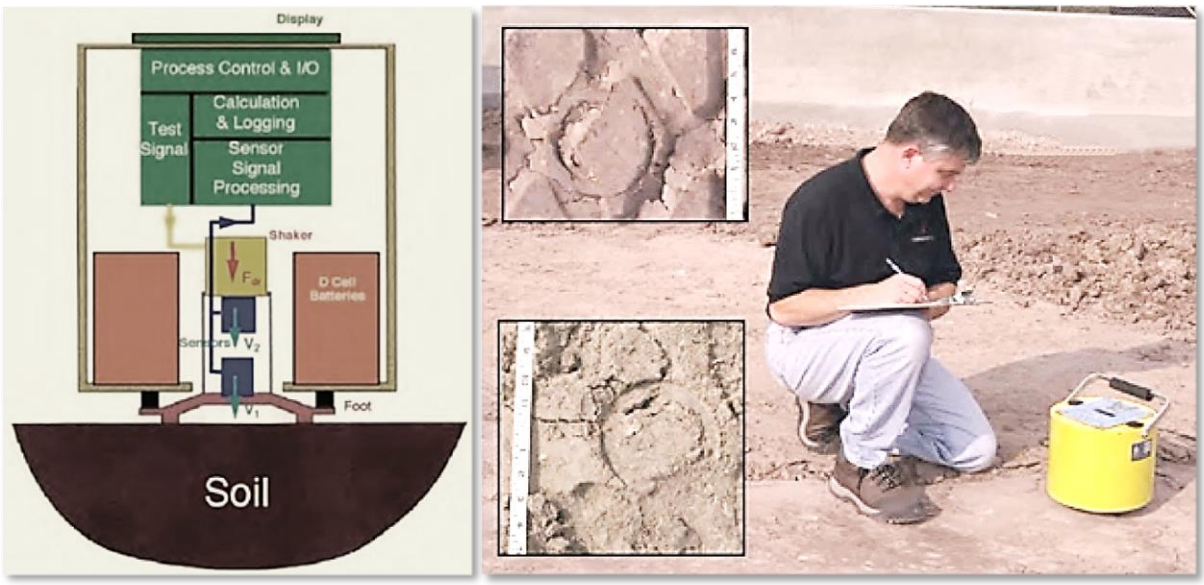


Figura 13: Corte esquemático do aparelho e mecanismo de funcionamento e técnico realizando o ensaio propriamente dito. Fonte: (HUMBOLDT, 2021, p. 4).

Em que pese a praticidade de aplicação bem como a rapidez dos resultados obtidos com o equipamento Geogauge, ainda estão sendo desenvolvidos estudos no sentido de estabelecer correlações mais significativas com o módulo de resiliência obtido em laboratório por meio do ensaio triaxial de cargas repetidas, devido a alguns fatores, como

[21] **GEOGAUGE** (Soil Stiffness Gauge – SSG).

diferença no carregamento, compactação, dentre outros. Gudishala (GUDISHALA, 2004, p. 27) em sua dissertação de mestrado explicita que o controle de qualidade das camadas granulares é realizado essencialmente por meio de testes de densidade e umidade *in situ*, embora tais parâmetros não sejam utilizados como entrada nos métodos de dimensionamento empírico mecanísticos. Em função disto, estes indicadores não servem para avaliar o processo construtivo dos pavimentos devido à estas restrições, fazendo com que se adotem outros indicadores que visem verificar o comportamento resiliente dos materiais em campo.

Neste sentido alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos utilizando o Geogauge para determinação de parâmetros de deformabilidade em camadas de pavimentos e controle tecnológico de obras de pavimentação. Gudishala obteve correlações significativas entre os módulos de resiliência obtidos com o Geogauge, o DCP e o LFWD em comparação com os módulos encontrados em laboratório por meio do ensaio triaxial de cargas repetidas, para materiais granulares e coesivos (MAIA, SILVA, & BARROSO, 2015, p. 179).

LFWD - Light Falling Weight Deflectometer

Diferentemente do *Ensaio de Placa* que verifica estaticamente[22] a resistência do solo para adoção de fundações rasas e, similarmente à prova de carga dinâmica que aplica carga em movimento sobre estacas, o ensaio de **Placa Dinâmica**, Light Falling Weight Deflectometer – LFWD, de certa maneira, reúne características das duas tipologias: destina-se à análise da resistência de fundações rasas ou bases compactadas por meio da percussão de uma carga dinâmica em uma placa rígida de metal assentada sobre o solo.

Ensaio muito bem difundido e utilizado na Europa há mais de duas décadas com destaque na agilidade e confiabilidade de resultados, o teste de Placa Dinâmica é um método de verificação e controle da capacidade de carga e compactação do solo. As normas que regulamentam o ensaio na Alemanha, Espanha e Estados Unidos são TP BF-StB Parte B, UNE 103807-2: 2008 e ASTM E 2835, respectivamente.

Consiste na percussão de um peso sobre uma base metálica de formato circular de 30 cm de diâmetro que impõe ondas de vibração no solo ao invés de penetração, facilitando o teste em uma grande quantidade de pontos no local (Figura 14). Os componentes

[22] Verificar **nota de rodapé 4** que explicita as diferenças entre ensaios estáticos e dinâmicos.

vêm acondicionados em uma maleta que organiza as peças além de facilitar o processo de montagem pré-ensaio.

Figura 14: Equipamento Placa Dinâmica e detalhe do ensaio.
Fonte: (BP_INSTITUT, 2021) e (CFT &, 2021) [27 de outubro 2021].

Acoplado ao aparelho, um sistema digital efetua no local a leitura e determina o *Módulo de Deformação Dinâmica*[23] das camadas compactadas de aterro e bases granulares de maneira, praticamente, instantânea (Figuras 15 e 16) sem a necessidade de utilização de contrapesos em caminhões ou outros elementos de carga.

Figura 15: Teste sendo realizado em bases compactadas.
Fonte: (BP_INSTITUT, 2021), (CFT &, 2021) e (TERRATEST, 2021) [03 de dezembro 2021].

[23] **O Módulo de Deformação** é um dos parâmetros que devem ser medidos *in situ* a fim de verificar a qualidade da compactação.

Figura 16: Demonstração de controle dos dados, em tempo, via celular. Fonte: (BP_INSTITUT, 2021), (CFT &, 2021) e (TERRATEST, 2021) [03 de dezembro 2021].

A calibração é feita nos dois componentes em separado, martelo e módulo digital. A altura do martelo deve ser verificada a fim de atender os limites de curso bem como as molas de amortecimento sobre a placa de modo que a força máxima aplicada seja de 7,07 kN e a duração do impacto de 17 milissegundos. O conjunto gera uma tensão máxima equivalente a 100 kN/m² na área de placa de 30 cm de diâmetro. No interior da placa um acelerômetro (Figura 17) verifica as leituras do impacto pelo medidor que devem estar dentro dos limites de norma (CFT &, 2021).

Durante as atividades de ensaio, são estabelecidos os valores do Módulo de Deformação Dinâmica a serem atingidos pelas diferentes camadas compactadas, permitindo a correlação com os módulos obtidos no ensaio convencional de carga estática de *Placa*.

> As instituições e regulamentos especificam estes ensaios e estabelecem valores do módulo de deformação dinâmica a serem cumpridos pelas diferentes camadas compactadas, o que permite a correlação com os módulos obtidos com o ensaio convencional de carga estática da placa (CFT &, 2021).

Figura 17: Detalhe do acelerômetro interno, parte integrante da placa metálica de ensaio.
Fonte: (HMP, 2021) [27 de outubro 2021].

Ensaio CPT e CPTu

O Ensaio de Penetração de Cone – CPT (Cone Penetration Test), desenvolvido na Holanda, está entre os principais métodos de investigação geotécnica. Os resultados desse ensaio permitem a identificação estratigráfica de perfis de solos moles e a determinação de suas propriedades mecânicas estimadas com base em correlações empíricas e semiempíricas. O ensaio tem aplicações em diversas áreas da Geotecnia e, em particular, na previsão da capacidade de carga e de recalques de fundações (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 67).

De acordo com a Norma (NBR 12069, 1991), o objetivo desse método é a determinação da resistência do solo à penetração estática e contínua ou incremental de uma ponteira padronizada, constituída por componentes de verificação da resistência de ponta e do atrito lateral do solo. O método visa fornecer dados que permitam estimar propriedades dos solos que serão utilizados em projeto e construção de edificações e obras de terra.

O ensaio CPT consiste na cravação estática lenta de um cone mecânico ou elétrico com uma ponteira de área 10 cm² ou mais e ângulo de ápice de 60° armazenando em um computador os dados a cada 20 cm de penetração. Um equipamento hidráulico no terreno, atuando também como contrapeso e acoplado a um caminhão, crava o cone no solo a uma velocidade de 20 mm por segundo (Figura 18). O posicionamento da ponteira de cravação deverá estar perfeitamente aprumada no eixo vertical a fim de que o eixo da composição dos tubos externos coincida com o da aplicação de esforços. Após a cravação, os dados são obtidos de forma automática por meio de um sistema que captura os índices fazendo o registro contínuo desses dados ao longo da profundidade (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 69).

O método de investigação do solo fornece:

a) Resistência de ponta (qc);
b) Resistência do atrito lateral (fs);
c) Correlação entre resistência de ponta e atrito lateral (Fr, em %) que permite a identificação do tipo de solo.

Obs.: O ensaio CPT não obtém amostras do solo; os perfis do solo são obtidos por correlações.

O valor referente a cada componente de resistência de interesse deverá ser documentado, no mínimo, a cada 20 cm de avanço da ponteira. A profundidade da ponteira deverá ser observada e medida a cada novo registro e todos os resultados são apresentados por meio de um relatório em que constam as seguintes informações:

a) descrição dos trabalhos;
b) descrição da aparelhagem;
c) apresentação do resultado de aferição do sistema de medição dos esforços;
d) planta de locação detalhada dos pontos apresentados em escala, contendo dados planialtimétricos e gráfico dos valores de componentes de resistência em função da profundidade em escala apropriada para ensaio cone - resistência de ponta e para ensaio de cone-atrito - resistência de ponta e atrito lateral local.

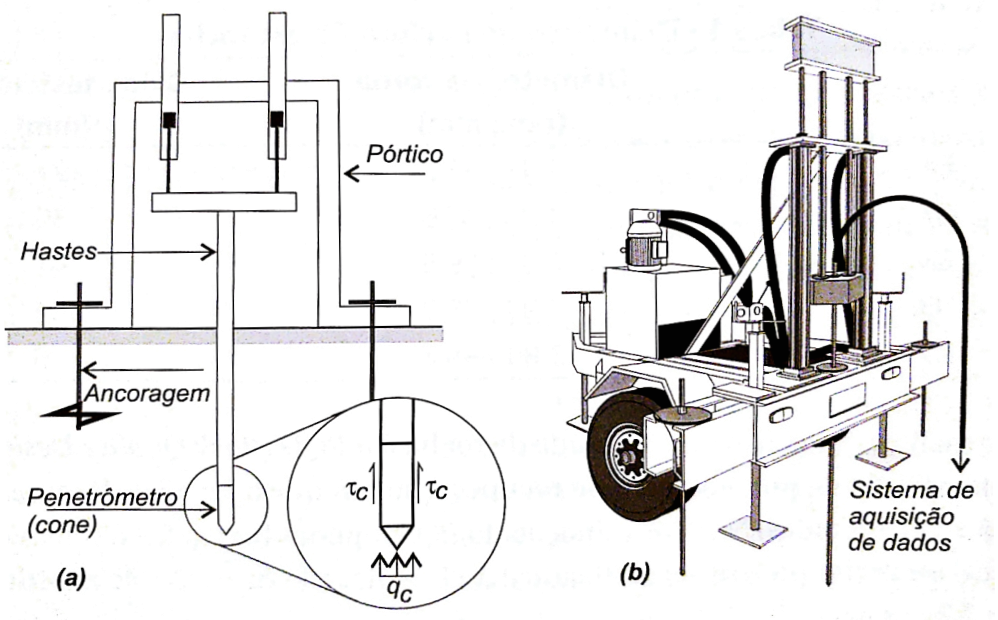


Figura 18: Detalhe do cone de penetração e equipamento de cravação. Fonte: Imagem internet domínio público.

O Penetrômetro Piezocone Elétrico (CPTu) estabelece o padrão para a caracterização geotécnica e geoambiental do solo com medidas de resistência da ponta, pressão dinâmica dos poros e o atrito contínuo da luva durante a penetração. O resultado gera um perfil contínuo eletrônico de dados do solo, parâmetros de design e aplicações de design direto. As aplicações do ensaio são variadas como a possibilidade de design de fundação profunda e de fundação rasa, avaliação de liquefação (estática e cíclica), estabilidade da inclinação, avaliação dos parâmetros geotécnicos do solo, em rejeitos de mina, caracterização geoambiental (locais contaminados) e caracterização do site marinho.

Características do Ensaio Piezo Cone Penetration Test – CPTu (Figura 19):

a) Perfil contínuo do solo (incrementos de profundidade de 1 a 5 cm);
b) Múltiplos parâmetros em um único teste como a Resistência da Ponta (qt), Fricção da Luva (fs), Pressão Dinâmica dos Poros (Ud), Pressão Porosa Estática (Ueq), Temperatura e Inclinação;
c) Tamanhos de 5, 10, 15, 20 e 40 cm 2 (área da seção transversal);
d) Ampla gama de capacidades de carga e transdutor de pressão para maximizar a precisão em todos os tipos de solo;
e) Recursos específicos do projeto personalizado, conforme necessário;
f) Procedimentos de calibração e certificação no setor;
g) Pré-projeto ou verificação de calibração pré-furo, conforme necessário;
h) Opções de implantação de rede fixa para depósitos de fluido de minas (CT09).

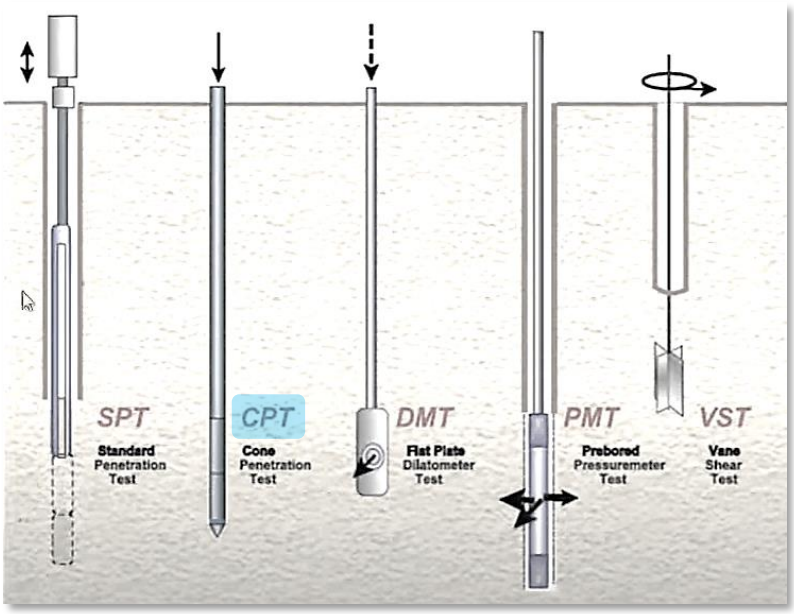


Figura 19: Ensaio CPT e outros ensaios de penetração. Fonte: Imagem internet domínio público.

Potencialidades do Ensaio Piezo Cone (Tabela 1):

a) Alta precisão e capacidade de repetição;
b) Custo efetivo;
c) Rapidez e eficiência - taxas de penetração de 2 cm / segundo,> 150 m ou 500 pés por dia;
d) Pouco invasivo sem estacas de solo (1,75 pol. / 43,7 mm de diâmetro);
e) Perfil contínuo do solo;
f) Resposta à pressão dos poros e avaliação das águas subterrâneas;

g) Conjunto completo de correlações publicadas para parâmetros de projeto geotécnico;
h) Aplicações de design direto.

Tabela 1: Potencialidades do CPT e do CPTu

	CPT	CPTU
Perfil do solo	Alta	Alta
Estrutura do solo	Baixa	Moderada a alta
História de tensões	Baixa	Moderada a alta
Variação espacial das propriedades mecânicas	Alta	Alta
Propriedades mecânicas	Moderada a alta	Moderada a alta
Características de adensamento	-	Alta
Condições do nível d'água	-	Alta
Potencial de liquefação	Moderada	Alta
Economia no custo das investigações	Alta	Alta

Fonte: (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 94).

Em resumo, o ensaio CPT gera resultados que podem ser utilizados diretamente na solução de problemas geotécnicos, por meio dos chamados métodos diretos de projeto, sem a necessidade de obtenção de parâmetros constitutivos do solo. Pode-se tomar como exemplo a utilização dos resultados do CPT em analogia com a sondagem à percussão SPT, amplamente difundida no Brasil, sendo possível prever a capacidade de carga de estacas. Métodos correntes de projeto (Aoki; Velloso, 1975) foram concebidos com base em correlações entre valores de qc (cone) e NSPT (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 119).

> Os ensaios de Cone e Piezocone passaram a fazer parte da rotina de engenharia brasileira, complementando as informações obtidas em programas preliminares de investigação desenvolvidos com base em sondagens SPT. [...] Inúmeras empresas estabeleceram-se no mercado nas últimas décadas e operam comercialmente em todo o território brasileiro. Assim como preconizado para as outras técnicas de investigação, o treinamento permanente de pessoal e a manutenção dos equipamentos constituem-se em condições indispensáveis para que os resultados sejam representativos e confiáveis. A supervisão na realização do ensaio é prática recomendável. **As medidas de ensaio (qc, fs, u e/ou vs) obtidas por meio de procedimentos normalizados (conforme as recomendações da ABNT, ASTM e Eurocode) podem ser utilizadas na estimativa de características e propriedades do solo (estratigrafia; densidade relativa, Dr; resistência não drenada, Su; ângulo de atrito interno, ϕ'; história de tensões; coeficiente de adensamento, Ch), assim como no dimensionamento de fundações (previsão de capacidade de carga e estimativa de recalques)** (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 126) [grifo nosso].

Standard Penetration Test - SPT

Diversos estudos para a qualificação e melhor refinamento de dados da sondagem SPT vêm sendo desenvolvidos no meio acadêmico, como exemplar, o trabalho de tese realizado pela engenheira Juliana Azoia Lukiantchuki (LUKIANTCHUKI, 2012) na Pós-graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, por meio do qual interpreta os resultados da sondagem SPT com base em instrumentação dinâmica que serão descritas em capítulo adiante.

No intuito de servir a um melhor esclarecimento do trabalho em epígrafe e sua contribuição para esta Tese, algumas considerações prévias sobre a sondagem SPT são necessárias.

A Sondagem Simples à Percussão - SPT[24] é o método que busca estabelecer uma relação entre o número de golpes aplicados sobre um amostrador (N) e a resistência promovida pelo solo em análise, em outras palavras, significa verificar a quantidade de golpes necessária (NSPT) para a penetração de um barrilete metálico a uma profundidade de 45 cm, com cargas e golpes estabelecidos em norma NBR 6484 (ABNT, 2020).

O método SPT, em que pese a eficiência na obtenção do perfil geotécnico do solo, respectivas profundidades e espessuras, se destaca dos seus equivalentes devido aos baixos custos, mão de obra relativamente especializada, praticidade e pela boa precisão dos resultados obtidos (Figura 20). É possível, por meio de uma análise visual e tátil identificar as características do solo quanto à sua granulometria, plasticidade, cor e origem (solos residuais, transportados ou aterros), devidamente ordenadas de acordo com a profundidade. Além disso, eventualmente, é possível determinar a profundidade do nível de água subterrânea e, quando necessário após o término da cravação do amostrador, utiliza-se um torquímetro a fim de se obter as medidas de torque máximo e torque residual[25]. Ao final da sondagem é elaborado uma tabela com todas as informações compiladas tais como o NSPT, caracterização do solo, dentre outras.

Como observado, um relatório técnico de sondagem contém as “informações referentes a metodologia empregada para a sua execução, além dos seus resultados, os quais incluem os perfis geológicos, a resistência, o nível da água e a caracterização do solo

[24] **Standard Penetration Test.**
[25] Ensaio denominado **SPT-T**. A medida de torque visa dar um melhor suporte técnico à sondagem SPT.

constituinte da área, por meio de da interpretação dos boletins de campo e testemunhos [...] Os trabalhos de geotecnia integram e contribuem para a evolução do empreendimento e têm por finalidade o levantamento, a identificação e a documentação dos principais elementos, que consistem em indicativos da qualidade dos solos, definidos a partir de ensaio de penetração padrão e coleta de amostras." (SMANIOTTO, 2018, p. 5). Caso haja a necessidade de estudos devido ao escopo e determinação do projeto, podem ser realizadas sondagens pelo método misto que consiste na definição do topo rochoso de alguns pontos pré-definidos, isto é, a perfuração de solo[26] e de rocha utilizando-se uma coroa com diâmetro que pode variar de acordo com as características do maciço encontrado (ABNT, NBR 15492, 2007).

Trata-se de uma sondagem extremamente utilizada no Brasil, mais especificamente, na construção civil de edifícios (FALCONI, 2019, p. 121). Resumidamente, os principais objetivos do método simples de sondagem a percussão são:

a) Elaboração do perfil geotécnico da área em investigação a fim de definir as camadas que constituem o solo bem como as suas respectivas características;
b) Coleta de *amostras deformadas* das camadas de solo a cada metro de profundidade para posterior caracterização do solo;
c) Identificação de possíveis aterros ou camadas de solo com matéria orgânica;
d) Verificação da existência e profundidade do lençol freático;
e) Definição da resistência do solo por meio de correlações com o NSPT.

Figura 20: Sondagem SPT e detalhe do amostrador bipartido e corpo de solo para análise em laboratório. Fonte: (CIVICONCEPTS, 2021) [27 de outubro 2021].

[26] Método de **perfuração rotativa**.

As características de cada construção, o contexto da obra e o tipo de sistema estrutural e construtivo orientam a profundidade e a quantidade de furos de sondagem a serem explorados, resultando em ótimas análises e avaliações da estratigrafia local. A NBR 8036 (ABNT, 1983) define que as sondagens devem ser realizadas até a profundidade em que a pressão das cargas estruturais for menor que 10% da pressão geostática efetiva no solo, em outras palavras, **até onde a pressão da carga estrutural sobre o solo já não possua níveis a serem considerados**. Em situações geológicas muito específicas em que há predominância de camadas rígidas no solo, a sondagem pode ser interrompida quando alcançado o perfil de elevada resistência.

Com relação a quantidade de furos de sondagem a norma preconiza que as sondagens devem ser, no mínimo, de 01 furo para 200 m² da área de projeção do edifício com até 1.200 m². Nas projeções de edifícios acima de 1.200 m² até 2.400 m² de área deve ser realizado 01 furo a cada 400 m² contemplando-se a regra anterior. Acima de 2.400 m² o número de sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. Em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser de 02 furos para área da projeção em planta do edifício até 200 m² e 03 furos para área entre 200 m² e 400 m². Caso não haja a planta de edificação, por exemplo nos casos de estudos de viabilidade, deve-se realizar, no mínimo, 03 sondagens com distanciamento máximo de 100 metros, evitando-se, sempre, o alinhamento dos furos.

Três etapas distintas são realizadas na sondagem SPT (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 27) e sempre repetidas para cada metro de profundidade perfurado, as quais são: perfuração, ensaio de penetração e amostragem.

Os elementos que compõe o conjunto necessário para a realização da sondagem são compostos por (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 23):

a) *Torre de sondagem completa ou tripé de sondagem.* Formada por quatro tubos de aço, com 5 metros de comprimento cada com dispositivos para montagem das hastes e dos tubos de revestimento, assim como para o acionamento do martelo;
b) *Composição para perfuração e cravação.* Formada por uma composição de hastes de aço com diâmetro externo de 33,4 mm (± 2.5 mm), Diâmetro interno de 24.3 mm (± 2.5 mm) e massa linear de 3.23 kg/m, com comprimentos de 1 ou 2 metros. As hastes são acopladas por luvas rosqueáveis;

c) *Tubos de revestimento.* Tubos de aço com diâmetro externo de diâmetro externo = 76,1 mm (± 5 mm) e diâmetro interno de 68,8 mm (± 5 mm) com comprimentos de 1 ou 2 metros, também emendados por meio de luvas rosqueáveis;

d) *Trado helicoidal.* Utilizado para a abertura dos furos de sondagem. O diâmetro do trado deve ser ligeiramente inferior ao diâmetro interno do tubo de revestimento, para permitir uma folga de 5 a 7 mm. Para tubos de revestimento com 63,5 mm de diâmetro interno, o diâmetro usual do trado é de 58 mm;

e) *Trépano ou peça de lavagem.* Formado por uma peça de aço biselada que possui duas saídas laterais para a água. A largura da lâmina de aço deve possuir uma folga de 3 a 5 mm em relação ao diâmetro interno dos tubos de revestimento;

f) *Sistema de circulação de água.* É constituído de uma bomba hidráulica, uma caixa para decantação de detritos e mangueiras de engate rápido;

g) *Amostrador padrão tipo Raymond.* É constituído por três partes: cabeça, corpo e sapata. O corpo do amostrador é formado por um tubo de aço bipartido, com dimensões nominais padronizadas (comprimento de 609,6 mm, diâmetro externo de 50,8 (± 2 mm) e diâmetro interno de 34,9 (± 2 mm). A cabeça do amostrador é formada por dois orifícios laterais, para saída de água e ar, e uma válvula interna constituída por uma esfera de aço inoxidável. Esses dispositivos permitem o balanceamento e o alívio da pressão interna do amostrador, durante a entrada da amostra na fase de cravação e durante a retirada da composição de hastes. A sapata do amostrador é confeccionada em aço temperado para suportar os esforços;

h) *Cabeça de bater.* Cilindro de aço com diâmetro de 83 mm (± 5 mm), altura de 90 mm (± 5 mm) e massa nominal entre 3,5 e 4,5 Kg (Figura 21);

i) *Martelo padronizado:* constituído por uma massa de ferro de 65 Kg, podendo ser maciço ou vazado e em formato cilíndrico ou prismático e, ao longo do seu eixo de simetria longitudinal, possuem barra ou pino guia de 1,2 metro. A fim de proteger o martelo e melhorar o contato entre as faces durante o impacto, é assentado um coxim de madeira dura.

Figura 21: Detalhes da cabeça de bater e martelo cilíndrico maciço.
Imagem: (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 157).

Especificamente, os trabalhos são iniciados com a remoção do substrato orgânico do solo além da limpeza da camada vegetal ou outros elementos superficiais para a instalação do aparato fixo que viabilizará a sondagem. A estrutura fixa constitui-se numa torre metálica, normalmente um tripé, sob a qual encontra-se fixada uma roldana percorrida por um cabo flexível que eleva e guia um bloco de carga de 65 Kg a uma altura de 75 cm, processo este realizado manualmente. O bloco é percutido sobre a *cabeça de bater* responsável por suportar as cargas de cravação do amostrador padrão no qual serão recolhidas as amostras de solo (barrilete) durante todo o processo de sondagem.

A sondagem SPT começa com a perfuração do primeiro metro de profundidade (desprezado) para, em seguida, **contabilizar o número de golpes necessários para a cravação do barrilete nos primeiros 45 cm de solo que por sua vez é dividido em 03 etapas de 15 cm de avanço cada**[27] (Figura 22). Para os cálculos posteriores, são desprezados os golpes aplicados nos 15 primeiros centímetros das três etapas de perfuração e a obtenção do índice NSPT é calculado pela quantidade de golpes necessários para a cravação dos 30 cm restantes finais (15 cm + 15 cm). Após este segmento, realiza-se uma escavação de 55 cm de profundidade com um trado helicoidal a fim de que possa ser atingida a nova parcela do metro seguinte. Este método de trabalho é repetido até que se alcance a profundidade estabelecida

[27] **A cravação do amostrador-padrão**, nos 45 cm previstos para a realização do SPT, deve ser contínua.

pelo responsável técnico do projeto[28] ou até que sejam afetados alguns dos critérios de paralização definidos na norma ABNT.

As escavações nos 55 cm posteriores de cada fase da sondagem, após os 45 cm iniciais de cada metro de profundidade, geralmente, são realizadas por meio de trado helicoidal, contudo, podem existir situações em que o solo não seja aderente ao equipamento ou em casos de solos impenetráveis[29]. Nestes casos, a cravação é interrompida, **porém, a sondagem ainda não está finalizada devendo ser continuada a perfuração com um trépano (peça de lavagem)**, técnica que utiliza uma bomba mecanizada que circula água sob pressão no furo da sondagem para a remoção do material de solo (NBR 6484, 2020). A sondagem por circulação de água somente é dada como encerrada quando forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 minutos. É importante ressaltar a utilização de tubos de revestimento encarregados de fazer a contenção do solo nas paredes do furo escavado (FALCONI, 2019, p. 122).

Ainda sobre os casos de cravação ou trado helicoidal impenetráveis no solo, é importante observar que se a ocorrência se der até uma profundidade de 03 metros, a perfuração deverá ser reiniciada com direções diametralmente opostas e a uma distância mínima de 02 metros do local inicial. Esta tarefa é realizada a fim de que não ocorra uma leitura equivocada do traçado geotécnico do terreno uma vez que pode significar simplesmente a presença de matacões[30] de tal forma que não seja comprometida a precisão do projeto e a segurança da estrutura.

Após cada processo de cravação do barrilete, amostras deformadas do solo[31] são recolhidas, acondicionadas em recipientes herméticos e despachadas para análise em laboratório e deverão ficar à disposição do contratante, por um período mínimo de 60 dias, a contar da data da apresentação do relatório.

---

[28] "**O critério de paralisação das sondagens** é de responsabilidade técnica da contratante ou de seu preposto, e deve ser definido de acordo com as necessidades específicas do projeto." (NBR 6484, 2020).

[29] Item 5.2.3.11 "**A cravação do amostrador-padrão é interrompida** antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações: a) se em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 40; b) se o amostrador-padrão não avançar durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo." (NBR 6484, 2020).

[30] **Na geomorfologia**, matacão ou penedo, chamado popularmente de rochedo, é uma grande massa de rocha saliente em encostas, constituída pelo afloramento de rocha nua (WIKEPÉDIA, 2021) [28 de outubro 2021].

[31] **Sofrem compressão no interior do tubo** o que gera variações na quantidade de água e ar presentes no solo padrão.

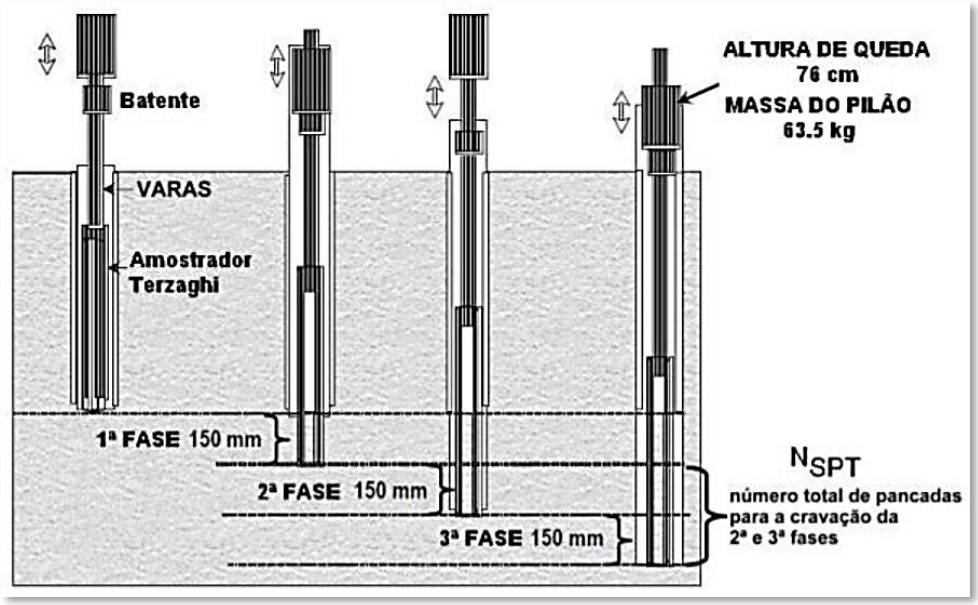


Figura 22: Fases para cálculo NSPT. Fonte: Imagem internet domínio público.

Em caso de não ter sido definido um critério de paralisação por parte do técnico responsável pela obra ou pelo projeto, a norma estabelece três critérios de paralisação os quais, a seguir, foram didaticamente reescritos para maior inteligibilidade:

a) Profundidade alcançada de 10 metros consecutivos durante o ensaio com o número de golpes[32] igual ou superior a 25;
b) Profundidade alcançada de 08 metros consecutivos durante o ensaio com o número de golpes igual ou superior a 30;
c) Profundidade de alcançada 06 metros consecutivos durante o ensaio com o número de golpes igual ou superior a 35.

Quanto ao lençol freático, notada a presença de água durante os trabalhos com o trado, a perfuração é interrompida para a anotação do nível da água no solo. Ao término da sondagem SPT, recolhidos todos os aparatos, estrutura fixa, tubos de revestimento, dentre outros, realiza-se novamente a anotação do nível de água no furo após um período mínimo de 12 horas bem como a profundidade da abertura remanescente do furo.

A variação observada nos perfis é representativa da própria variabilidade das condições do subsolo, sendo necessário para cada projeto avaliar as implicações da adoção de perfis mínimos ou médios de resistência. A classificação do material normalmente é obtida por meio da combinação da descrição do testemunho de sondagem com as medidas de resistência à penetração. No laboratório, as amostras coletadas são submetidas a verificações

[32] N - **Índice de resistência à penetração** determinado pelo número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm, utilizando-se martelo de 65 kg de massa.

visuais e táteis para identificação da granulometria, plasticidade, coloração e origem. A primeira distinção é realizada pela fricção das amostras entre os dedos da mão, identificando os solos grossos como as areias e os pedregulhos dos solos finos como as argilas e os siltes e a segunda consiste na aferição visual da dimensão dos grãos. A norma brasileira 6502 (ABNT, 1995) orienta que as argilas se distinguem dos siltes pela plasticidade quando possuem umidade suficiente e pela resistência coesiva quando secas ao ar (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 39).

A Tabela 2 apresenta o sistema de classificação amplamente utilizado no Brasil e recomendado pela NBR 7250 (ABNT, 1982). É baseado em medidas de resistência à penetração sem qualquer correção quanto à energia de cravação e ao nível de tensões. Uma proposta alternativa (Tabela 3) foi apresentada por Clayton em 1993 (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 40).

Tabela 2: Classificação de Solos Segundo a NBR 7250/1982

Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areia e silte arenoso	< 4	fofa
	5-8	pouco compacta
	9-18	medianamente compacta
	19-40	compacta
	> 40	muito compacta
Argila e silte argiloso	< 2	muito mole
	3-5	mole
	6-10	média
	11-19	rija
	> 19	dura

Fonte: (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

Tabela 3: Classificação de Solos e Rochas Segundo Clayton

Material	Índice de resistência à penetração	Designação
Areias $(N_{SPT,1})_{60}$	0-3 3-8 8-25 25-42 42-58	muito fofa fofa média densa muito densa
Argila $N_{SPT,60}$	0-4 4-8 8-15 15-30 30-60 > 60	muito mole mole firme rija muito Rija dura
Rochas brandas $N_{SPT,60}$	0-80 80-200 > 200	muito brandas brandas moderadamente brandas

Fonte: (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012).

Após a finalização dos trabalhos de campo é emitido um boletim técnico de sondagem (Figura 23) que compila todas as informações por meio de um diagrama das camadas do solo onde são relacionados a cota da profundidade de nível da água, a descrição das camadas de solo identificadas e dos respectivos índices de resistência à penetração – NSPT conforme pode ser conferido a seguir.

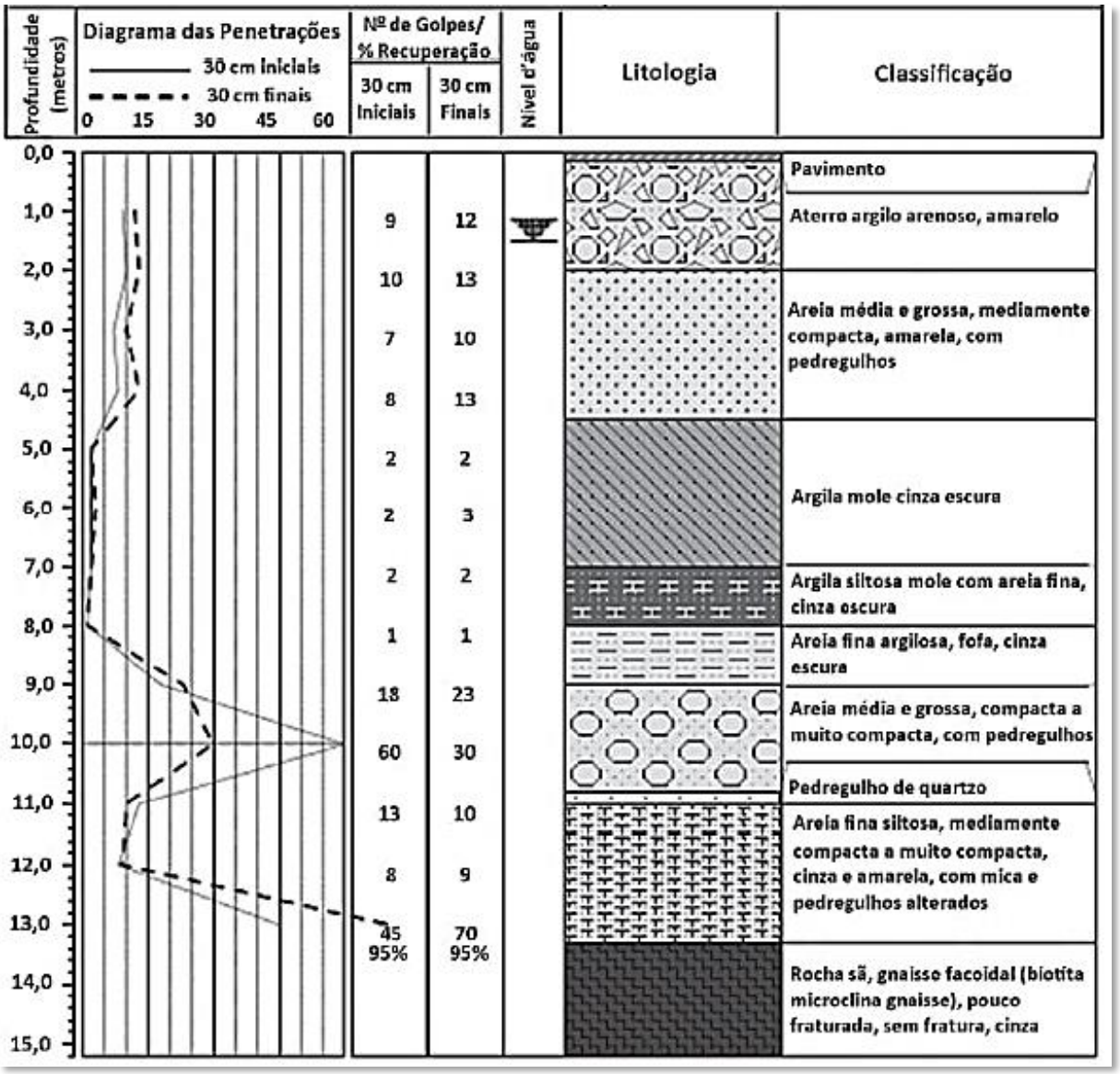


Figura 23: Exemplo de tabela/gráfico sondagem SPT com todas as informações compiladas.
Fonte: Imagem internet domínio público.

Interpretação de Resultados da Sondagem SPT[33]

Em sua tese, Juliana Azoia Lukiantchuki (LUKIANTCHUKI, 2012), como já mencionado anteriormente, lembra que a sondagem SPT é muito utilizada no Brasil e no mundo para estimar a resistência de solos, por meio de do índice NSPT que representa a resistência à penetração dinâmica do amostrador no terreno. Para a determinação da capacidade de suporte e recalque das fundações, os projetistas de fundações fazem uso desse índice para correlações empíricas ou semiempíricas. Mesmo com a grande disseminação do método, o ensaio vem sofrendo inúmeras críticas devido ao uso dessas correlações empíricas bem como da dispersão dos resultados em função dos diferentes procedimentos executivos e equipamentos. A energia efetivamente transmitida ao amostrador durante a queda do martelo influencia diretamente o índice NSPT que, por sua vez, pode sofrer influência do equipamento, dos procedimentos e da natureza humana (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 37).

Desde a década de 1970, inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos indicando a grande variabilidade nos valores da eficiência da energia do ensaio. **Para que haja uma uniformização do uso do índice de resistência à penetração, deve ser medida a energia efetivamente aplicada no topo das hastes da sondagem** e em seguida correlacioná-las com o valor NSPT; em sequência os dados podem ser utilizados em projeto (FALCONI, 2019, p. 39).

O trabalho desenvolvido pela engenheira, em específico, buscou a partir das quantidades de energia envolvidas durante a queda do martelo e o devido registro dos sinais de força e aceleração, apresentar interpretações dos resultados obtidos com a sondagem SPT.

> A energia cinética do martelo, no instante do impacto, é transferida para o conjunto de hastes, de comprimento finito, por meio de da propagação de uma onda de tensão. Esta transferência ocorre na forma de impulsos de tensão, sendo que a magnitude e a duração desses impulsos dependem da configuração do martelo, das hastes, da cabeça de bater e dos materiais que constituem os equipamentos (Figura 24). [...] Essas quantidades de energia são determinadas indiretamente, por meio dos sinais de força normal e aceleração durante a propagação da onda de tensão ao longo da composição de hastes. Para isso, **foi desenvolvido um equipamento que inclui uma instrumentação[34]** capaz de registrar esses sinais de força normal e aceleração (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 51) [grifo nosso].

[33] Com Base em Instrumentação Dinâmica.

[34] **Um dos objetivos** foi o desenvolvimento de um equipamento, compatível com as dimensões da sondagem **SPT brasileira.**

Para tanto, foram instalados instrumentos (Figura 25) de verificação no topo quanto na base da composição de hastes permitindo estimar os valores de energia disponíveis no topo e na base.

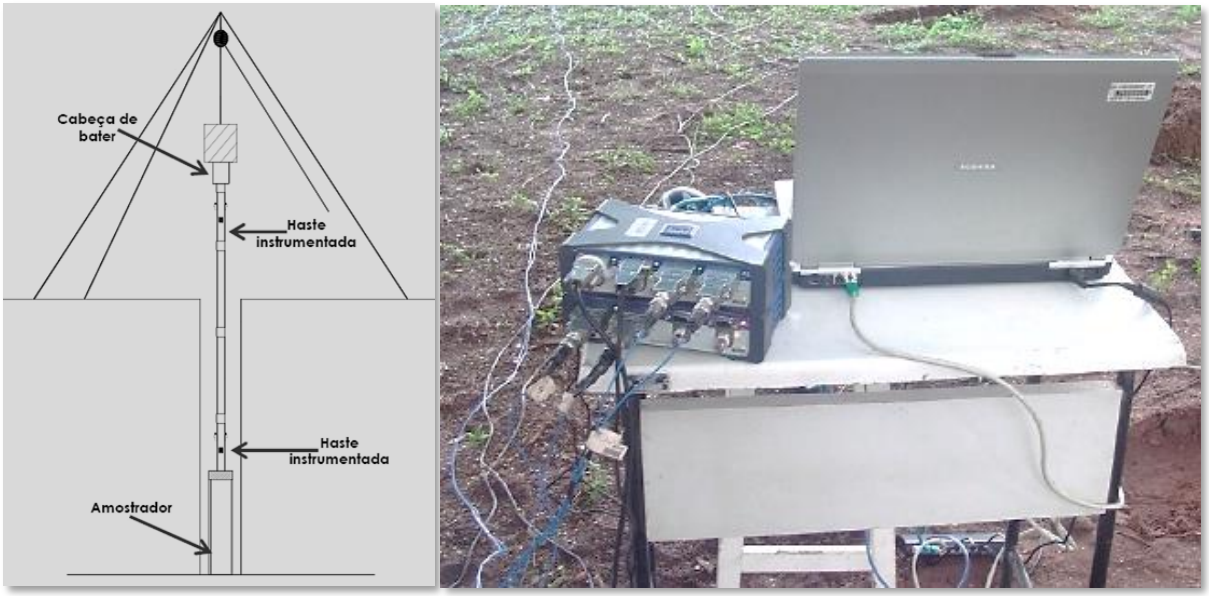


Figura 24: Segmentos de hastes instrumentados posicionados no topo e na base do conjunto de hastes e sistema de aquisição de dados.
Fonte: Imagem (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 158).

A verificação da energia no ensaio foi feita por meio do método EFV[35] que permite determinar a energia total envolvida no ensaio, entenda-se no golpe do martelo sobre o conjunto de penetração. Em que pese algumas dificuldades encontradas no método EFV a nível de precisão de dados, é possível qualificar a coleta com o emprego de 02 *acelerômetros* do tipo *piezoelétrico* (Figura 26) com uma faixa de utilização máxima que permita leituras de aceleração próximas a 10000 g e que trabalhem em uma faixa de frequência de pelo menos 15000 Hz (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 128), rigidamente montados com suportes de alumínio para medir a velocidade das partículas durante a onda da propagação da tensão. Além destes, deve ser instalada uma célula de carga composta por *extensômetros (strain-gauges).*

[35] EFV = **Energia transmitida à composição de hastes** considerando a força seccional e a velocidade das partículas (J).

Figura 25: Detalhe da haste instrumentada e proteção dos acelerômetros por meio de de uma camada de borracha silicone. Fonte: Imagem (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 160).

Figura 26: Segmento de haste instrumentado posicionado abaixo da cabeça de bater.
Fonte: Imagem (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 157).

Preliminarmente, foram realizados ensaios com os suportes finais de fixação dos acelerômetros e da célula de carga no Laboratório de Dinâmica do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos. Após a análise dos resultados foi possível dar segmento aos ensaios propriamente ditos em solos típicos do interior do Estado de São Paulo de forma convencional e mecanizada e, a partir do registro dos sinais (Figura 27),

também foi possível determinar a resistência dinâmica mobilizada no sistema solo x amostrador.

> Os resultados experimentais foram comparados com resultados obtidos por meio de métodos teóricos, baseados no Princípio de Hamilton[36], para a determinação da resistência estática e dinâmica do solo. Essas análises mostraram que equações teóricas podem ser adequadas para a determinação da resistência do solo, desde que seja considerada a quantidade de energia que efetivamente atinge o amostrador.

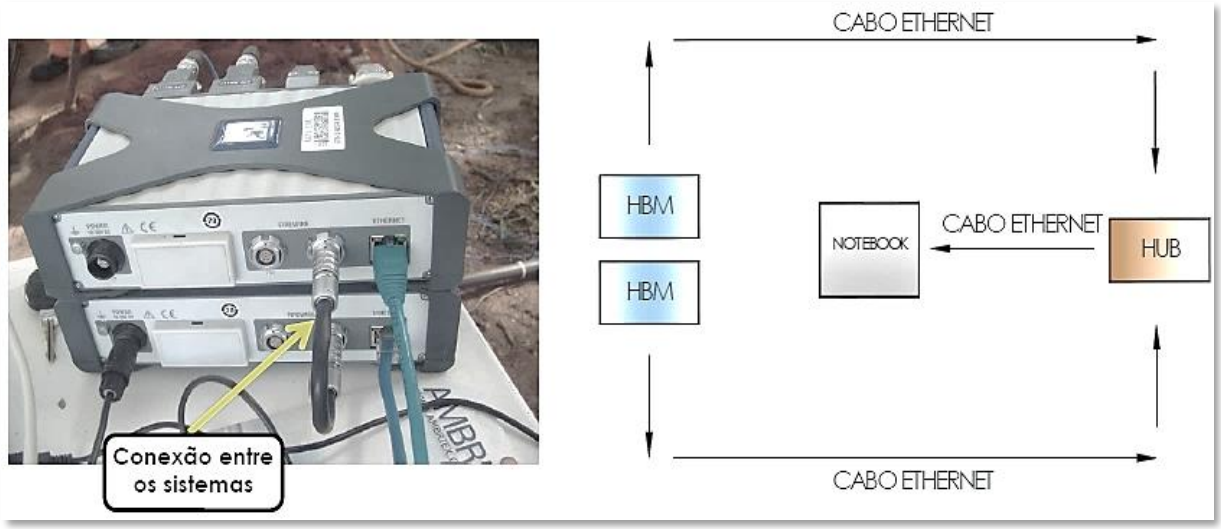


Figura 27: Aparelhagem e fluxos de coleta de dados.
Fonte: Imagem (LUKIANTCHUKI, 2012, p. 158).

Os resultados obtidos com a pesquisa indicaram que o equipamento desenvolvido pela engenheira foi capaz de determinar corretamente os valores de energia, isto é, os valores calculados por meio dos sinais de aceleração, foram próximos aos valores de penetração permanente registrados em campo indicando uma elevada confiabilidade dos resultados. As conclusões corroboram a importância de verificação da quantidade efetiva de energia sobre o amostrador, parâmetro fundamental na determinação da resistência dos solos. O trabalho de coleta da energia possibilita a incorporação de equações teóricas na prática de projeto de fundações. Estudos desse porte vêm preencher zonas de penumbra no que tange ao método de sondagem SPT e abrir possibilidades de fabricação de novos aparatos tecnológicos, entenda-se novos equipamentos que já incorporem a instrumentação utilizada nos trabalhos da tese, uma vez que permite uma melhor interpretação dos resultados da sondagem.

[36] **O Princípio de Hamilton**, que se aplica a qualquer evento físico, mostra que a energia se conserva e se transforma de um tipo de energia em outro no intervalo de tempo considerado, durante um evento (CLOUGH & PENZIEN, 1975).

Teste CBR *in situ*

O Equipamento determina o índice de suporte *in situ* das diversas camadas do pavimento em estado natural sendo composto por um macaco mecânico, adaptado à parte traseira do laboratório móvel, um anel dinamométrico, pelo pistão e pelas conexões entre as partes. A carga de reação é proveniente do peso de um caminhão ou caminhonete carregada sendo que tais aparatos permitem a execução do ensaio conforme a metodologia da NBR-9895 (ABNT, 2016). De acordo com o método de ensaio ME-47/99 – Determinação do Índice de Suporte do Subleito *in situ* adotado pela Secretaria de Vias Públicas da Prefeitura do Município de São Paulo, o conjunto (pistão, anel e macaco) é disposto sobre a superfície nivelada, de modo que fique verticalmente abaixo do ponto de reação do sistema de carga do veículo carregado. Inicia-se a aplicação das cargas com a velocidade de 1,27 mm/min, efetuando-se as leituras, cálculo das pressões e representação gráfica conforme o realizado no ensaio laboratorial (BERTI, 2005, p. 13). O ensaio é basicamente o mesmo que o ensaio de laboratório, em que um pistão de 19,63 cm² (diâmetro 5 cm) é forçado a uma pressão de mesma intensidade do pavimento e compara-se à carga no pistão com a profundidade da penetração.

Na Inglaterra[37] também são realizados testes de verificação de compactação de bases. Os procedimentos de execução são semelhantes aos do *Ensaio de Placa*. *In situ* são verificados os níveis de resistência do subleito compactado desde de que seja composto por partículas de cascalho menores que 20 milímetros. Nos casos em que as partículas possuam tamanho superiores ao indicado, é aconselhado a realização do *Ensaio de Placa.* Um veículo, de tipo caminhonete, tem sua carroceira totalmente carregada com agregados de areia ou brita para servir de contrapeso estável com o objetivo de penetrar um êmbolo cilíndrico metálico na base compactada. O processo registra as pressões necessárias para penetrar o cilindro, no mínimo, 5 mm no solo a uma taxa de 1 milímetro por minuto. Em específico, realiza-se o registro das duas pressões necessárias para penetrar 2,5 mm e 5 mm, respectivamente (Figuras 28, 29 e 30). Conhecidos estes dados, é possível determinar o valor CBR e verificar se a compactação está de acordo com a especificação de projeto.

[37] **Sub Surface Group** é um grupo independente de empresas, que oferece uma ampla gama de serviços especializada em consultoria geotécnica e ambiental e de investigação locais. Foi fundada em 28 de março de 1972 por Clifford Marsden para se tornar uma empresa especializada em investigação de sítios. A sede do Sub Surface Group está localizada em Preston, Lancashire, Inglaterra e tem como objetivo fornecer serviços de qualidade por meio de pessoal altamente experiente.

Não obstante, **em alguns casos, correlações entre valores obtidos de ensaios *in situ* e de laboratório são irregulares**. Isto é particularmente verdadeiro, devido ao fato de o **solo no molde estar confinado**; os valores de CBR em laboratório tendem a ser **maiores que os medidos em campo**, mesmo estando sob as mesmas condições de teor de umidade e densidade. Para materiais granulares grossos, sobre os quais o efeito de confinamento na moldagem de laboratório é uma importante condição de ensaio, esta diferença pode ser muito grande. **Para os materiais argilosos e para condições de densidade e umidade idênticas**, os dois tipos de ensaios obterão essencialmente os mesmos resultados, porém os resultados em campo apresentarão valores um pouco menores que os valores obtidos em laboratório. Já para os **solos menos coesivos**, com baixo índice de vazios, **a diferença de resultados entre os ensaios** *in situ* e de laboratório **é alta** (BERTI, 2005, p. 14) [grifo nosso].

Figura 28: Detalhe do teste CBR *in situ* - partículas de cascalho menores que 20 mm.
Fonte: (SUBSURFACE, 2021) [03 de dezembro 2021].

Figura 29: Detalhe dos diferentes tipos de veículos carregados. Fonte: (SOUTHERNTESTING, 2021) e (ELE, 2021) [03 de dezembro 2021].

Figura 30: Detalhe do teste CBR *in situ* - partículas de cascalho menores que 20 mm.
Fonte: (SUBSURFACE, 2021) [03 de dezembro 2021].

Por meio de uma análise empírica, é possível estabelecer alguns elementos, características, vantagens e desvantagens do teste de compactação, os quais são:

a) O carregamento dos agregados (areia ou brita) na carroceria da caminhonete não pode ser considerado um processo ágil e rápido. Além disso, é uma tarefa dispendiosa uma vez que o carregamento deverá ser executado mecânica ou manualmente exigindo um considerável número de operadores;
b) Em que pese a alta energia e os relativos custos empenhados, o teste possui menores custos de execução quando comparado com o *Ensaio de Placa*;
c) A caminhonete totalmente carregada é capaz de gerar um contrapeso aproximado de 1,25 toneladas proporcionando valores significativos de pressão na base do êmbolo sobre o solo;
d) O diâmetro do êmbolo cilíndrico e o comprimento aproximado de 40 cm facilita a execução dos testes;
e) O veículo, demais ferramentas e instrumentos permitem a realização de testes em alguns locais de acesso restrito, porém, por não se tratar de uma tecnologia portátil não pode ser transportada todas as situações, localidades e contextos.
f) Caputo (1988, p. 210) afirma que a determinação do Índice de Suporte Califórnia *in situ* está sujeita a uma série de restrições, e por isso é pouco utilizada.

Em específico, este exemplar de verificação de resistência de solo foi considerado peculiar e de grande valia durante o levantamento do *estado da arte* uma vez que pode auxiliar e demonstrar, didaticamente, o contexto sob o qual se enquadra este trabalho. Vai além, pois enobrece a compreensão dos objetivos e dos conteúdos técnicos desenvolvidos nesta Tese. O ensaio praticado, de certa maneira, se aproxima metodologicamente dos procedimentos de ensaio de *Tensão Limite,* conforme pode ser conferido, em detalhe, nas subseções *Protótipo* e *Equipamento Piloto.*

Segundo o Professor R. L'Herminier[38], "[...] Alguns geotécnicos consideram o ensaio de penetração *in situ*, pouco exato; tão arcaico que lembra o bastão do engenheiro da *Belle Époque* que permitia estimar a capacidade de carga para o dimensionamento de uma

[38] **Engenheiro, professor** do Centro de Estudos Avançados da Construção, diretor técnico do Centro Experimental de Estudos de Edificações e Obras Públicas, França, meados do século XX.

fundação penetrando-o na superfície do solo[39]. Sob este ponto de vista, estes ensaios podem ser considerados medíocres pois contrariam o rigor científico que encanta todo bom engenheiro." Por outro lado, o Professor afirma ter apreciado continuamente os consideráveis serviços que os penetrômetros podem proporcionar no campo prático e realista da geotecnia. Enfatiza que "o penetrômetro não é uma panaceia universal. Apresenta suas limitações que podem levar a graves erros e fracassos; mas sendo utilizado, criteriosamente, constitui uma ferramenta importante para o reconhecimento dos solos" (MORAES, 1976, p. 109).

Por meio deste caso e das observações retiradas e apreendidas com os demais exemplares anteriormente analisados, foi possível estabelecer um rol de ideias, sugestões e balizamentos para o projeto e a fabricação do protótipo, assim como para a escolha e decisão de quais os processos para o Ensaio de *Tensão Limite* poderiam ser adotados. Em outras palavras, os pontos balizadores determinaram, a nível de atividades técnicas e de resultados esperados, os avanços pretendidos com a fabricação do aparato tecnológico.

A qualidade de uma obra de engenharia depende diretamente do controle tecnológico aplicado. Para tanto, as amostras recolhidas em todas as fases do empreendimento devem ser ensaiadas em laboratório assim como realizados testes *in situ* para verificar se os serviços executados atendem ou não às especificações vigentes e apontadas em projeto (FORTES & MERIGHI, 2004, p. 4).

Em resumo, pretende-se que a utilização do equipamento e, respectivamente, do ensaio exclusivo venham a preencher algumas das lacunas e restrições ainda presentes em ensaios do tipo uma vez que o equipamento deterá boa capacidade de implementação de carga, facilidade no transporte e mobilidade dentro da obra, além da flexibilidade na alteração das ponteiras do tipo êmbolo, cônica, laminar, dentre outras. Espera-se que o ensaio inovador de verificação complementar de resistência de solo possa vir a ser utilizado em conjunto com outros métodos de ensaio realizados no país.

[39] Procedimento similar utilizado dentro de tubulões pressurizados - capítulo a seguir.

3. PROBLEMA

Não restam dúvidas de que no século passado os avanços foram excepcionais no tocante aos métodos de ensaio de solo, entretanto, a grande complexidade do meio natural e as inúmeras e variadas necessidades humanas e os custos envolvidos, muitas vezes, inviabilizam ou impossibilitam a utilização desses mecanismos. Não obstante a grande velocidade com que são criados e produzidos novos instrumentais tecnológicos para análise dos solos, até os dias atuais muitas verificações da geotecnia ainda são realizadas de forma empírica. A exemplo deste problema, o caso dos tubulões pressurizados que pode ser conferido a seguir.

Um profissional, após minuciosa verificação dos equipamentos, acessórios e do pessoal de apoio, adentrava uma campânula hiperbárica e, paulatinamente, era submetido a maiores níveis de pressão do ar (Figura 31). Após o cumprimento do protocolo para a adaptação do corpo ao nível padrão de pressão de trabalho, o trabalhador podia dar início ao processo de perfuração propriamente dito dentro do conjunto pressurizado constituído por anéis sob a campânula metálica. A perfuração por meio de condições de alta pressão atmosférica é uma tarefa árdua, complexa e lenta que exige grande aparato físico e ferramental (FALCONI, 2019, p. 404). Com o advento da recente atualização da NR 18 tornou-se proibido o uso de tubulões pressurizados[40].

Ao término dos trabalhos da perfuração hiperbárica era necessário que fossem verificadas as condições de resistência do solo dentro do tubulão, ou seja, da camada mais profunda sobre a qual seria realizada a concretagem e assentada a fundação.

Esta verificação *in situ* se deve ao fato de que os tubulões, especificamente, são empregados para transferir, ao solo, cargas verticais de compressão ou tração bem como cargas horizontais, a depender de cada situação. Provas de carga realizadas neste elemento indicaram que sob baixas deformações admissíveis a parcela da resistência lateral para tubulões de grande comprimento é significativa e se desenvolve plenamente com deformações da ordem de 5 a 10 milímetros; estas deformações independem do diâmetro do fuste. Entretanto, tem sido **prática usual** admitir como sendo **nula a tensão lateral ao longo**

[40] **A nova norma regulamentadora NR-18 que entrou em vigor no ano de 2021**, definiu novos critérios para execução com segurança de tubulão escavado manualmente, tais como a obrigatoriedade do encamisamento e o fuste mínimo de 90 cm. Além disso, dispôs que após seis meses estaria proibida a escavação manual de tubulão com profundidade superior a 15 metros bem como a **proibição do uso de tubulão de ar comprimido após 24 meses da publicação.**

do fuste e, deste modo, toda a carga do pilar é transferida ao subsolo pelo apoio da base (FALCONI, 2019, p. 298).

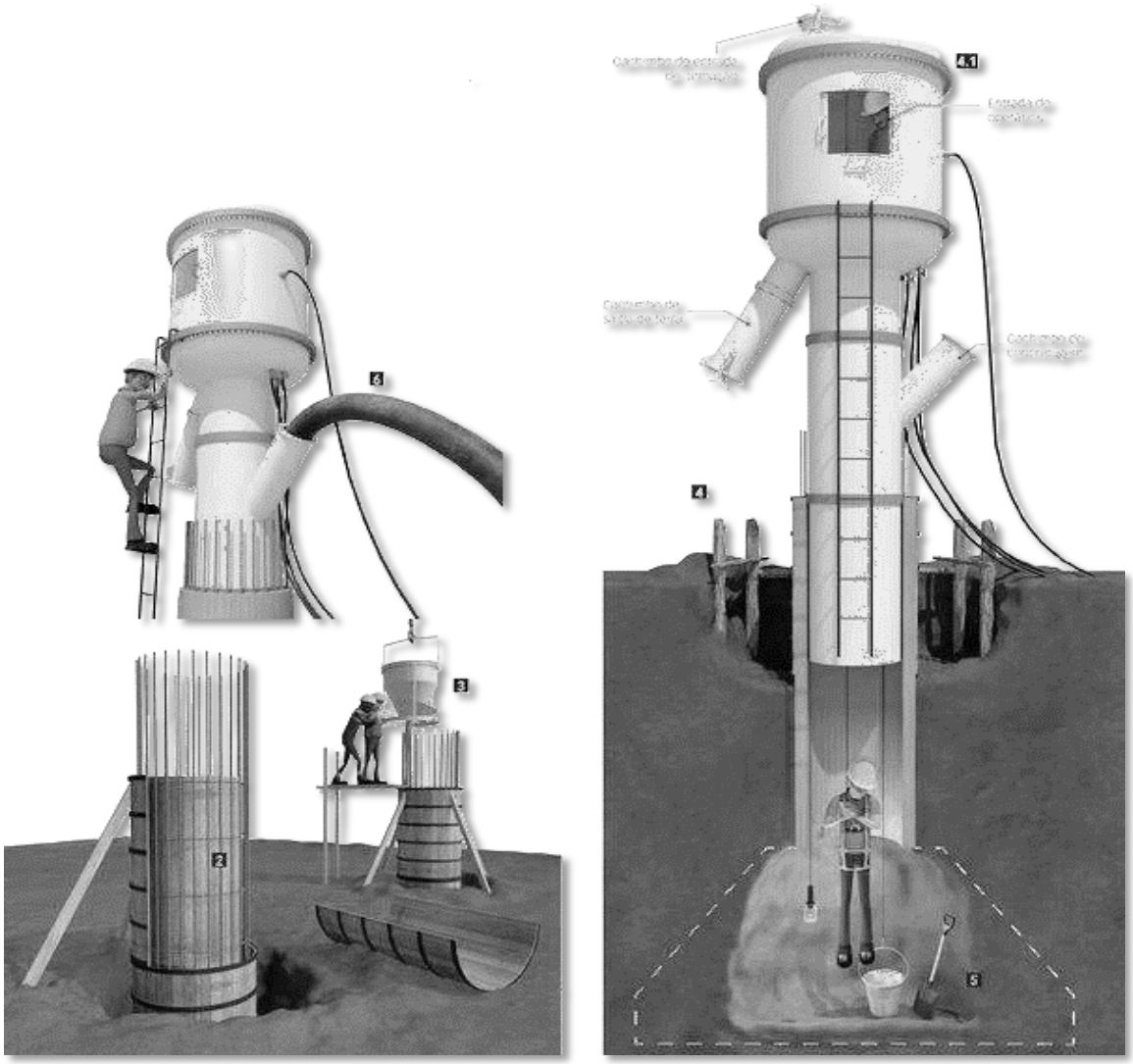


Figura 31: Detalhe execução de fundação com pressão hiperbárica.
Fonte: (ESCOLAENGENHARIA, 2021) [01 de outubro 2021].

Este dado técnico consagrado em que se despreza o atrito lateral nos cálculos de projeto de tubulões (em observância à NBR 6122) faz com que seja necessário, em especial nos tubulões hiperbáricos, a verificação da resistência na superfície do solo, ou seja, **na base desse elemento estrutural**.

Assim sendo, um engenheiro técnico capacitado e profissionalmente experiente era rigorosamente selecionado para a importante tarefa de análise e avaliação empírica do solo da base do tubulão. O agente adentrava o volume ocasião em que, com as duas mãos e com o apoio do próprio tronco, penetrava uma barra metálica forçando-a sobre o solo. Este método consistia na verificação da capacidade de penetração da barra no solo,

em outras palavras, consistia na percepção da resistência que o solo impunha contra a força aplicada pelo profissional habilitado por meio da barra de aproximadamente 2 cm² de diâmetro. Fundações deste tipo, muitas vezes, não possibilitavam a adoção de outros métodos se não o procedimento empírico e manual, contudo, pode-se inferir que os resultados da verificação ficavam aquém do rigor do método e da precisão científica.

> O mito do risco zero de ruína de uma fundação (ou da construção civil de um modo geral) faz o leigo supor que, nas edificações sem erros de projeto ou de execução, haja 100% de segurança. É tarefa dos engenheiros civis esclarecerem esse ledo engano, mas, para isso, devem praticar a verificação da probabilidade de ruína nos seus próprios cálculos. O público em geral, o investidor, o projetista e o executor devem estar cientes de que a **engenharia civil é uma atividade de risco** e que os projetos devem atender a uma probabilidade de ruína máxima, **aceita previamente pelos participantes do processo** (CINTRA & AOKI, 2010, p. 68) [grifo nosso].

A Tese, de modo concorrente, desenvolve a possibilidade de aplicação de um novo ensaio para se obter a resistência direta do solo, quer seja, um aparato instrumental de verificação – equipamento de procedimento de ensaio de *Tensão Limite* – em sapatas abertas, radiers, tubulões, corpos estradais, bases compactadas, dentre outros. No caso de corpos estradais, o ensaio proposto não elimina a necessidade dos estudos do solo e de suas propriedades, em destaque o grau de saturação. O novo procedimento tem como objetivo complementar os ensaios existentes no setor com a facilidade de se obter a tensão diretamente no solo não deformado.

4. JUSTIFICATIVA

Antemão, convém descrever algumas considerações sobre as *Normas Técnicas* e sobre o ineditismo do engenheiro Fernando Luiz Lobo Carneiro que diante de um problema urbanístico criou o *Ensaio de Tração do Concreto* utilizado no mundo até os dias de hoje. Os dois tópicos vêm justificar e esclarecer o mote desta pesquisa.

As normas técnicas são baseadas em resultados consolidados pela ciência, pelas inovações tecnológicas e pela experiência acumulada visando a obtenção de benefícios para as sociedades. Define-se como norma técnica e normalização:

> Documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.
>
> Atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva **com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto**. Consiste, em particular, na elaboração, difusão e implementação das Normas (ABNT, 2022) [grifo nosso].

Essencialmente, versam sobre o ordenamento de um determinado tema em uma dada conjuntura. O órgão não governamental que estabelece as diretrizes, gerencia o processo de desenvolvimento, reconhecimento, aprovação e homologação dos documentos normativos (Figura 32) em âmbito nacional e internacional é a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

No caso específico do campo da engenharia, desde a regulamentação da profissão, mais precisamente as áreas técnicas em geral, as normas tornaram-se obrigatórias como premissas de atuação laboral, isto é, os profissionais deveriam desempenhar suas atividades profissionais em observância aos procedimentos que desempenhassem as melhores técnicas amparadas cientificamente (PELACANI, 2010, pp. 17,20,97,98).

Desdobramentos ocorreram com a implementação do Código de Defesa do Consumidor, ocasião em que as normas técnicas passaram a ter um status paralegal, cuja inobservância caracterizaria, em certa medida, um caráter de “prática abusiva” por parte do fornecedor do serviço técnico.

> É vedado ao fornecedor de produtos e serviços colocar, no mercado de consumo, **qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela**

> **Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT**, ou outra Entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – (CONMETRO, 1993)[grifo nosso].

Observa-se que na inexistência de Regulamentação Técnica específica sobre um produto ou serviço e, sendo a ABNT a única entidade reconhecida pelo CONMETRO, as normas conferidas pelo Órgão tornam-se referência de qualidade dos produtos e serviços comercializados no país.

Em todo o mundo é consagrada a importância de utilização do compêndio de normas para a obtenção de qualidade, segurança e durabilidade dos serviços e obras de engenharia, constituindo-se em recomendações com base na melhor técnica disponível e certificada num determinado momento com o objetivo de atingir um resultado satisfatório.

Figura 32: Processo de elaboração das normas no Brasil.
Fonte: (BATTAGIN, 2014, p. 3).

Por outro lado, face o desenvolvimento constante da ciência, a regra de obrigatoriedade de atendimento às normas técnicas, não pode ser adotada como absoluta e, portanto, não podendo ser considerada como um fim em si mesma, isto quer dizer, que não há um limite muito claro entre a obrigatoriedade da norma e o que pode ser considerado como uma simples recomendação.

Esta situação tende a ser mais complexa uma vez que as normas vêm sendo cada vez mais referenciadas por diversos dispositivos legais, quer seja por processos de

certificação que embasam os Programas Governamentais, haja vista os programas de qualidade voltados à construção civil. Em razão disto, a preocupação do Órgão direciona-se no sentido de promover ênfase cada vez maior ao conteúdo das normas técnicas e à necessidade frequente de atualização; nos últimos anos, a ABNT vem atualizando, por meio de seus Comitês Técnicos, as normas sob a sua responsabilidade (BATTAGIN, 2014, p. 6).

No campo jurídico, o respeito às normas técnicas como fator de atendimento à qualidade, é uma presunção *juris tantum*, ou seja, abre a possibilidade do contraditório, desta forma, o avanço tecnológico e a criatividade humana tendem a desenvolver métodos e técnicas diferentes ou alternativas daquelas recomendadas pelas normas expedidas podendo atingir resultados efetivos e, em muitos casos, melhores (VLEX, 2022, p. 1).

Um caso específico no Brasil é capaz de demonstrar claramente a importância das declarações feitas anteriormente sobre Normas Técnicas. Trata-se de um ensaio que derivou de uma necessidade de satisfação para um problema de caráter urbanístico que exigia soluções estruturais e mecânicas, conhecido como ***Brazilian Test*** *(ensaio à tração do concreto).*

A cidade do Rio de Janeiro no ano de 1943, durante o regime do Estado Novo, era perpassada por obras urbanísticas, especificamente, a Avenida Presidente Getúlio Vargas que necessitava ser aberta e modelada. Inúmeras ruas e edificações pré existiam na linha ordenadora da avenida e precisavam ser demolidas. Ocorre que, no centro da futura via havia a presença de uma igreja barroca, São Pedro dos Clérigos, construída durante os anos de 1733 a 1738 e que, obviamente, não poderia simplesmente vir a se tornar escombros. Assim, foi aventada a possibilidade de deslocamento da edificação.

A igreja possuía uma planta baixa de formato arredondado, aproximando-se de uma forma elíptica como poucas no Brasil (Figura 33), além de uma exuberância de estilemas, ornamentos e acabamento em ouro (ALVIM, 1999, p. 261).

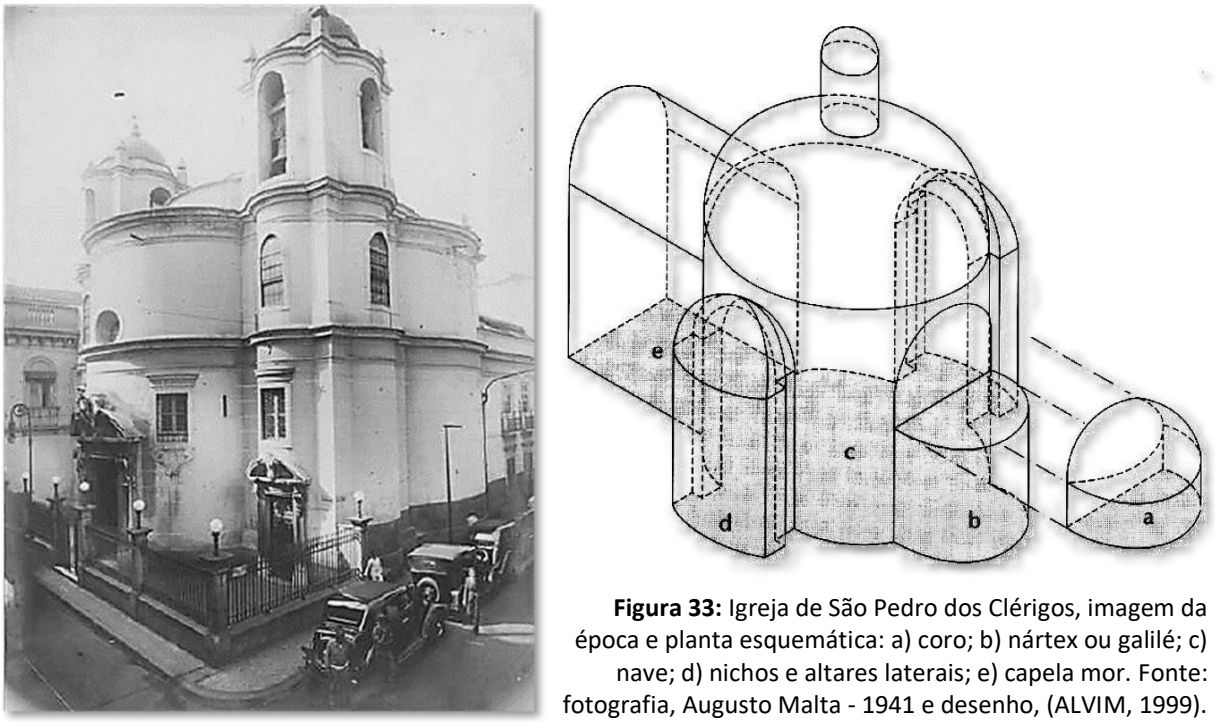


Figura 33: Igreja de São Pedro dos Clérigos, imagem da época e planta esquemática: a) coro; b) nártex ou galilé; c) nave; d) nichos e altares laterais; e) capela mor. Fonte: fotografia, Augusto Malta - 1941 e desenho, (ALVIM, 1999).

O processo completo de deslocamento já testado no velho continente se dava por meio de duas bases rígidas que eram confeccionados sob o edifício, sendo a primeira assentada logo abaixo da estrutura existente e a outra em uma parcela mais profunda do solo. Por entre essas duas bases, o método "clássico" consistia na inserção de **roletes de aço** que permitiam a movimentação do conjunto edificado. Para o caso brasileiro, houve o desejo de utilizar roletes de concreto com 60 cm de diâmetro motivado pela certa escassez de aço no planeta que tinha sua produção voltada ao abastecimento dos países diretamente ligados à 2ª Guerra Mundial.

Os estudos e ensaios para a viabilização do processo de movimentação da igreja ficaram a cargo do especialista em concreto o engenheiro Fernando Luiz Lobo Carneiro (Figura 34) tendo sido indicado pelo Diretor da Divisão de Indústria da Construção do Instituto Nacional de Tecnologia – INT, o engenheiro Paulo Accioly de Sá. Na oportunidade foi possível sugerir a substituição da parte inferior das paredes da igreja por concreto que, sobre os roletes, permitiria a movimentação desejada (ALVIM, p. 261).

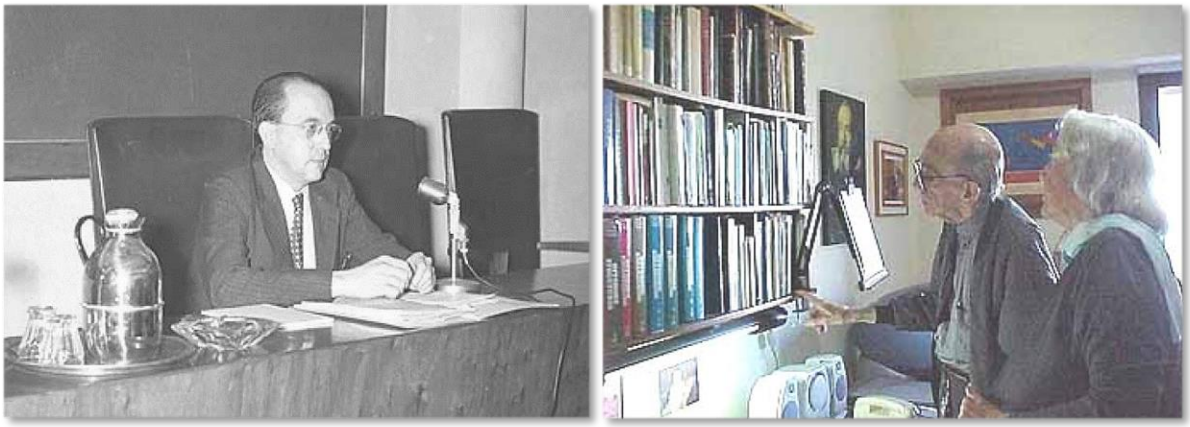


Figura 34: Professor Fernando Luiz Lobo Carneiro em conferência no Clube de Engenharia, em 27 de abril de 1948 e detalhe da estante da biblioteca pessoal em que o engenheiro reuniu seus escritos no ano de 1991 (THOMAZ, 2021).

Na Europa, os ensaios de tração dos roletes de aço eram calculados pela fórmula de Hertz, porém, roletes de concreto nunca haviam sido utilizados, isto é, em todo o mundo ainda não haviam sido realizados ensaios de tração do concreto (Figura 35). Os ensaios que foram realizados no material eram apenas ensaios de compressão nos quais se utilizavam cilindros de concreto com 30 cm de altura e diâmetro de 15 cm.

Carneiro iniciou os ensaios assentando o cilindro de concreto "deitado" entre os dois pratos da máquina (prensa) e observou uma ruptura totalmente diferente do que ocorria nos cilindros de aço; uma fissura vertical na linha de centro abrindo o cilindro em duas partes. Em consequência disso, passou, teoricamente, a estudar o ocorrido, oportunidade em que propôs e divulgou[41] **um novo método para a Determinação da Resistência à Tração dos Concretos**, até hoje utilizado no mundo todo. Posteriormente, vários pesquisadores estudaram, verificaram e analisaram que a distribuição das tensões de tração no concreto eram, praticamente, as mesmas tensões determinadas pelo professor *Lobo Carneiro*.

[41] **No brasil, ninguém, exceto o INT, deu importância à descoberta**. Em 1947, o método foi levado à Reunião Internacional de Laboratórios de Ensaios, em Paris tendo sido, de pronto, aprovado e utilizado, passando a ser conhecido como *Essai Brésilien* ou Teste Brasileiro. Mais tarde, em 1962, o método foi aceito pela *American Society for Testing Materials*, que reconheceu a autoria de Lobo Carneiro fazendo com que, no mundo todo, o processo passasse a ser conhecido como *Brazilian Test*. Recentemente, em 1980, foi adotado pela *International Organization for Standardization* (ISO) (THOMAZ, 2021). A atual norma NBR 6118-2014 indica a relação entre a resistência à tração medida em diferentes ensaios: a) Resistência à Tração Indireta (fct.sp), medida no ensaio de compressão diametral, definido pela NBR-7222-94 e Resistência à Tração Direta (fct = 0,9 × fct.sp); b) Resistência à Tração na Flexão (fct.f), medida no ensaio de flexão, definido pela norma NBR-12142-91 e Resistência à tração direta = fct = 0,7 × (fct.f).

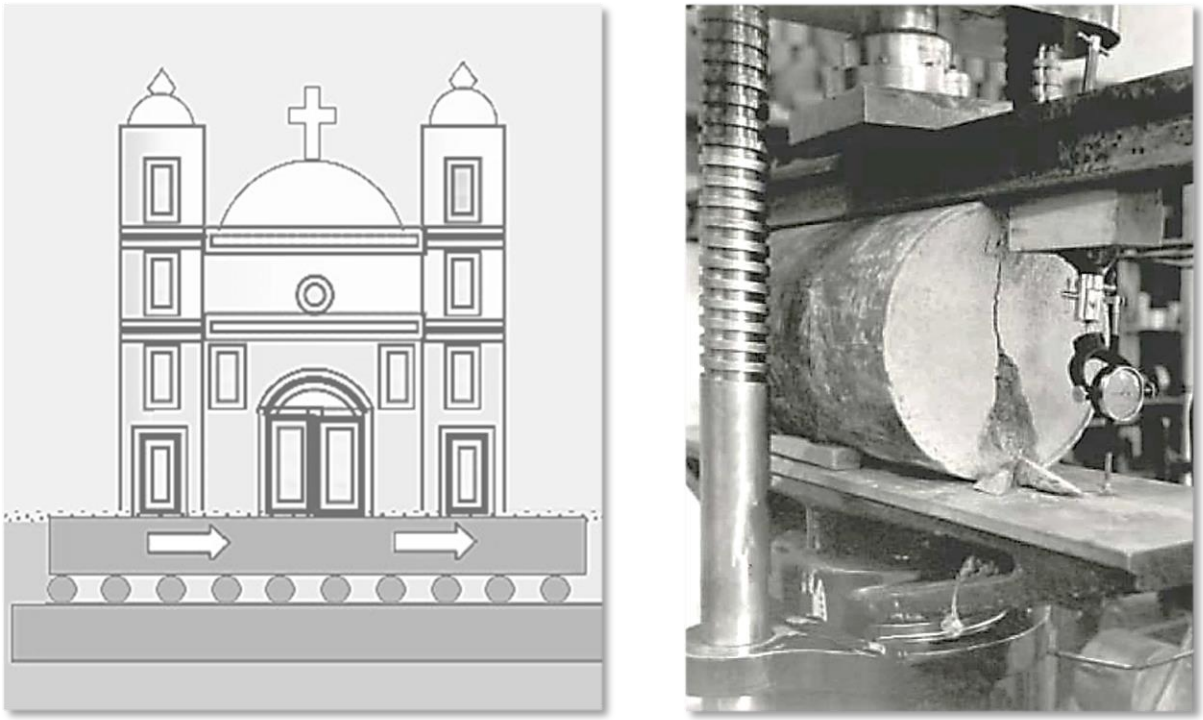


Figura 35: Demonstração da solução sugerida por Fernando Luiz Lobo Carneiro e detalhe do ensaio de cisalhamento diametral no corpo de prova. Desenho e imagem: (ARQUITETURA, 2021) [11 de novembro 2021].

Os desdobramentos ocorridos na época podem ser conferidos a seguir pela lente do próprio Professor Lobo Carneiro em entrevista[42] concedida no ano de 1991, quando inquirido sobre o que, afinal, aconteceu com igreja (Figura 36).

> Acabou sendo demolida, porque suas alvenarias eram bastante espessas, algumas tinham mais de um metro, mas completamente heterogêneas. Dentro delas haviam pedaços de estátuas, madeira, tijolos, etc; o que as tornava fracas. Além disso, o prefeito da época, Henrique Dodsworth, começou a ser ridicularizado. Diziam: *O velho está gagá, quer deslocar uma igreja sobre rolos*... **embora esse tipo de transporte tivesse sido feito na Europa com êxito**. Fizeram até um samba sobre o assunto. O prefeito mandou então um ofício à Franki, perguntando se a empresa garantiria que a igreja chegaria intacta do outro lado da avenida. O diretor respondeu: "Garantir eu não posso, porque, dada a heterogeneidade das paredes da igreja, pode haver um acidente durante o transporte e ela desmoronar." Diante disso, o prefeito deu o caso por encerrado e mandou demolir a igreja (THOMAZ, 2021) [grifo nosso].

Uma observação peculiar, neste momento, faz-se imprescindível. Não obstante ser um tema, certa maneira, extrínseco à esta Tese, fruto de reflexões sobre a cidade, seus espaços e edifícios – campo da arquitetura e do urbanismo e, sobretudo, de reflexões civilizatórias de um comum cidadão brasileiro, pode-se afirmar que a decisão tomada pelo prefeito da cidade do Rio de Janeiro, à época, foi totalmente equivocada; absurda.

[42] **Entrevista concedida** a Luiz Bevilacqua (Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia, UFRJ), Ildeu de Castro Moreira (Instituto de Física, UFRJ) e Alicia Ivanissevich (Ciência Hoje). Publicada Set/1991.

A demolição de um monumento histórico, raro, pertencente ao acervo cultural do país que se encontrava em processo de formalização devido ao recém criado Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – SPHAN foi entregue "nas mãos do escombro[43]". Não vem ao caso, a discussão sobre a necessidade ou não de transformações urbanísticas que, em muitos casos, são prementes. O cerne do colóquio direciona-se no sentido de verificar o empenho, a importância e a relevância que os agentes públicos bem como a sociedade concedeu e vêm concedendo à história do país, isto é, cedem um tratamento de valor insignificante. Inúmeras vezes na história das cidades surgiram, inexoravelmente, problemas desta categoria, contudo, as soluções quase sempre foram encaminhadas para a "via da simplificação dicotômica", ou seja, de preservar ou demolir em detrimento de inúmeros outros melhores e mais razoáveis desenlaces para o problema urbano e edilício.

O ato discricionário do agente público, à época, foi simbólico e representa, em grande monta, o figurino dos dirigentes atuais, dinâmica na qual não permitem que se esgotem os recursos públicos para um rol de obras urbanas e de novas construções, muitas vezes, sem valia e em desacordo com um rigoroso planejamento de Estado. Por outro lado, a escassez intencional de recursos para a cultura baseada em um "primitivismo histórico de cunho colonialista" reflete o pensamento daqueles que pouco ou nada têm de vínculo com uma verdadeira estratégia de desenvolvimento do País.

> **A igreja de São Pedro dos Clérigos foi um dos mais importantes edifícios de nosso acervo colonial**, vitimada pelo surto de modernidade do século XX, e de um pensamento vigente no entreguerra, segundo o qual resolver os problemas da cidade era resolver os seus problemas de tráfego. A igreja estava no caminho da Avenida Presidente Vargas e por isso foi demolida em 1943 (ALVIM, 1999) [grifo nosso].

Espera-se maior engajamento dos urbanistas, artífices das cidades e porque não dos engenheiros, fazedores de máquinas, a fim de que, juntos, lutem contra os desvelos e as delapidações das nossas cidades que não são propriedade de "alguns poucos", mas da coletividade do Povo Brasileiro.

[43] **Escombro** | n. m. - es·com·bro - (espanhol escombro) - substantivo masculino. O que resta de uma demolição ou desabamento. [Mais usado no plural.] = DESTROÇOS, **ENTULHO**, RUÍNA. in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [consultado em 11-11-2021].

Figura 36: Construção/abertura da Avenida Presidente Vargas com vários elementos demolidos. Detalhe da Igreja dos Clérigos, à esquerda, ainda "de pé". Fonte: (ALVIM, 1999).

Dada a discussão dos parágrafos anteriores – estritamente necessária, pode-se concluir que as considerações articuladas na sessão corroboram a assertiva de que **as necessidades humanas e o desenvolvimento da ciência e das normas estão em constante transformação**. A inestimável inovação científica concedida ao Brasil e ao mundo pelo *Professor Lobo Carneiro*, **somente foi possível diante da necessidade de se preservar um edifício do patrimônio histórico nacional, em outras palavras, foi fruto de importante causa e de um enorme desafio a ser enfrentado.**

Esta Tese, em específico, visa contribuir com pesquisas para a criação de uma **nova tipologia de ensaio** e, por meio de comparações, auxiliar na aferição e controle de análises de resistência de solos em conjunto com outros métodos já normatizados. A partir do contraditório científico e das invenções, novas possibilidades são abertas para o surgimento de soluções cada vez mais avançadas e adequadas às condições de uso dos recursos disponíveis no planeta.

A ciência evolui continuamente e os exemplares de ensaio anteriormente estudados, vêm reforçar a necessidade de novas e constantes pesquisas para o desenvolvimento da geotecnia.

Em reforço à afirmação, o aparato tecnológico/advento do ensaio de *Tensão Limite* poderá se constituir em importante contribuição na geotecnia como, por exemplo, nas fases de projeto para a construção de um edifício em altura. De posse do laudo de sondagem

SPT, o profissional responsável pelo projeto de fundações poderá, *in situ* quando da finalização das perfurações, realizar ensaios de Tensão Limite na base (cota de assentamento) dos elementos de fundação a fim de conferir, comparar e apurar os dados de resistência obtidos pela sondagem à percussão. Quaisquer incompatibilidades de dados ou o surgimento de novas ocorrências sobre a camada do solo poderão ser ajustadas nos cálculos previamente à execução da infraestrutura, com diminuição de retrabalho, ganhos em tempo de obra, economia de matéria prima e, consequente, racionalização da superestrutura uma vez que é decorrente das escolhas e decisões dos tipos de fundações a serem adotadas.

5. OBJETIVOS

Por meio de um novo equipamento, **objetivou-se com este Trabalho** a realização de ensaios para a obtenção e coleta de dados das tensões e dos respectivos deslocamentos dos solos decorrentes de cargas progressivamente aplicadas em fundações e bases compactadas, isto é, **testar, analisar e comparar as cargas e deslocamentos resultantes da adoção de carga incremental diretamente na superfície da base de sapatas, tubulões e corpos estradais com outros métodos consagrados de verificação de resistência de solo.**

A introdução dos novos procedimentos por meio do equipamento permitirá:

a) Obtenção de resultados imediatos e suporte à equipe no local de trabalho;
b) Execução de maior quantidade de testes no local da obra;
c) Automação dos ensaios e consequente redução de possíveis erros humanos;
d) Emissão de relatórios de forma informatizada e à tempo;
e) Liberação imediata da fundação para as etapas posteriores de execução.

Os ensaios realizados em laboratório efetuados sobre amostras indeformadas, precisos e delicados, não podem ser substituídos por métodos de penetração, entretanto, em condições de impossibilidade laboratorial, se utilizados dentro da boa técnica, os ensaios de penetração constituem uma ferramenta importante para o reconhecimento dos solos (MORAES, 1976, pp. 109, 111, 121).

Sob a premissa anterior, o novo ensaio introduz no campo da geotecnia mais uma alternativa de verificação complementar e corrobora a agilidade e a qualificação da análise e determinação da capacidade de resistência dos solos uma vez que permitirá um importante avanço científico com resultados imediatos nas obras de construção de

pavimentos rodoviários, fundações rasas, tubulões e bases compactadas além das equipes de laboratório que poderão realizar melhores controles de qualidade de seus ensaios.

Além dos resultados a serem alcançados com esta Tese, vastos são os campos de extensão e desenvolvimento de novos trabalhos uma vez que não se esgotam as possibilidades de utilização do aparato e dos novos procedimentos de ensaio em condições adversas de relevo e localização quanto em situações de risco. Assim, reside a possibilidade de desdobramentos dessa pesquisa no tocante a utilização em:

a) Tubulões em locais de acesso restrito ou de alto risco que demandem deslocamentos específicos com custos elevados e dificuldades logísticas dos equipamentos e da equipe técnica. Testes e verificações poderão vir a ser executados nestes locais a fim de checar a viabilidade de uso do equipamento;
b) Verificação da resistência do solo na ponta das estacas escavadas e base dos tubulões uma vez que impossibilitam a utilização de equipamentos e dos métodos usuais. Pesquisas que viabilizem a verificação na área de apoio da ponta ou ao longo do fuste das estacas bem como na base dos tubulões podem vir a racionalizar a elaboração dos projetos de fundação gerando ganhos nos custos finais da construção e na rapidez da obra.

Como objetivo complementar, espera-se com este Colóquio que os conhecimentos adquiridos com a pesquisa bem como o ensaio – equipamento *Tensão Limite* **venha incentivar novos pesquisadores**[44], na direção de conduzir para o universo da profissão, estudos voltados à engenharia com seus derivados campos de atuação.

Com o passar do tempo, a ciência, o ensino e as profissões especializaram-se cada vez mais. Esta discussão compete a outras áreas do conhecimento não sendo o cerne desta pesquisa. No caso específico da arquitetura, entretanto é importante ressaltar que a especialização, presumidamente, exerceu e ainda exerce influência na prática da dissociação entre os universos da arquitetura e da engenharia, universos estes complementares, podendo-se até afirmar, “simbióticos”.

[44] Foram empenhados esforços no sentido de tornar a linguagem mais inteligível para que o conteúdo deste trabalho possa ser melhor assimilado pelos leitores comuns, interessados no tema e pelos arquitetos que, no geral, são mais afeitos a uma a uma linguagem menos técnica e rebuscada, ou seja, que esteja relacionada mais fortemente com as áreas de humanas bem como aos múltiplos temas e disciplinas com os quais devem lhe dar no exercício da profissão.

Os arquitetos projetistas têm se afastado paulatinamente das questões relacionadas às ações *in situ* que envolvam conhecimentos da geotecnia, infra e super estrutura, dentre outras. Tal realidade se dá pelo apelo constante que as novas tecnologias computacionais produzidas atualmente provocam nos jovens estudantes.

Não é aconselhável a prática e concepção da arquitetura sem que haja a mínima compreensão das inúmeras soluções de engenharia a serem adotadas. Inúmeros profissionais acham ser possível esta proeza relegando ao engenheiro a mágica do equacionamento dessas questões num segundo momento.

Noutro caminho, **os estudantes de engenharia vêm se desvencilhando, cada vez mais, da complexidade arquitetônica e sua relação direta com a vida cotidiana**. As faculdades e universidades, paulatinamente, deveriam desenvolver mais pesquisas no sentido de cada vez mais relacionar, intrinsecamente, os dois campos do conhecimento humano.

Neste sentido, este trabalho detém valia.

> **Um bom arquiteto, hoje em dia, deve ser um generalista, muito versado em distribuição de espaço, em técnicas de construção e sistemas elétricos e mecânicos**, mas também deve entender bem de finanças, bens imobiliários, comportamento humano e conduta social. Ademais, é um artista, com direito a expressar seus dogmas estéticos. Deve conhecer tantas especialidades que, às vezes, diz-se que ele não sabe quase nada a respeito de tudo. O engenheiro, por outro lado, é, por treinamento e constituição mental, um indivíduo pragmático. É especializado em determinados aspectos específicos da engenharia e nesses aspectos apenas. [...] Não é de admirar que o engenheiro é tido como um profissional que sabe tudo sobre nada! As personalidades desses dois profissionais tendem a entrar em choque. Feliz é o cliente cujo arquiteto entende de estrutura e cujo engenheiro estrutural é um apreciador da estética da arquitetura (SALVADORI, 2006, p. 10) [grifo nosso].
>
> Será interessante, que inicialmente seja apresentada uma síntese da realidade do dia a dia do engenheiro, o qual é chamado a apresentar soluções para problemas de fundação, que sempre sem dispor do tempo necessário para um estudo completo do problema. Esse estudo seria iniciado pela programação da investigação do subsolo, sua execução e eventual complementação, interpretação de seus resultados, seguida das conclusões, que deveriam incluir um projeto de fundação e uma estimativa de grandeza dos recalques esperados. A realidade é diferente, **sendo o engenheiro muitas vezes levado a tomar decisões em cima de parcos resultados de sondagens de percussão** (SPT), muitas vezes executadas por firmas desconhecidas e até mesmo de idoneidade duvidosa (FALCONI, 2019, p. 231) [grifo nosso].
>
> De posse dos dados da investigação, o projetista pode avaliar o comportamento do solo, especialmente sua capacidade de suporte e deformabilidade, e **indicar as soluções técnicas possíveis**. Atenção especial deverá ser dada na fase de projeto quando os ensaios detectarem baixa consistência (CAMPOS, 2021, p. 1) [grifo nosso].

6. METODOLOGIA

Todo o desenvolvimento e resultados obtidos com esta Tese estão comprometidos com alguns métodos, processos e aparatos tecnológicos de análise e verificação de solos que têm por finalidade obter dados e informações dessa essencial camada da superfície terrestre sobre a qual se assentam todas as atividades humanas, desde as moradias até aos imensos parques industriais.

A natureza desta Tese foi definida no sentido de gerar conhecimentos para a aplicação prática de problemas específicos. Trata-se de uma pesquisa qualitativa em que se considerou a relação dinâmica entre o sujeito e o mundo real onde a base encontra-se no processo e o foco na interpretação dos fenômenos e na atribuição de significados, neste caso, a análise e a avaliação da comparação dos dados coletados nos testes e ensaios com alguns métodos usualmente utilizados para sondagem e verificação da resistência de solos.

Neste sentido, busca-se comparar e interpretar os dados obtidos nos ensaios por meio do novo aparato tecnológico – equipamento *Tensão Limite* a fim de qualificar os níveis de precisão e confiabilidade das informações de outros ensaios por meio de:

a) Revisão bibliográfica e estado da arte;
b) Fabricação do equipamento/protótipo;
c) Procedimentos de ensaio *in situ* com o protótipo;
d) Comparação dos resultados dos testes de ensaio de *Tensão Limite* com os resultados de outros métodos de ensaio de resistência de solo;
e) Apresentação e análise preliminar dos resultados;
f) Avaliação do equipamento/protótipo;
g) Fabricação do equipamento Piloto com base nos resultados obtidos na testagem do protótipo;
h) Procedimentos de ensaio com o Equipamento Piloto *in situ*;
i) Comparação dos resultados de ensaio de *Tensão Limite* com os resultados de outros métodos de ensaio de resistência de solo;
j) Apresentação e análise dos resultados.

não quero o que a cabeça pensa,
eu quero o que a alma deseja
[...] eu quero o corpo,
tenho pressa de viver.

Verso: Coração Selvagem, Belchior, 1977.
Imagem do Autor, fabricação do equipamento piloto.

7. DESENVOLVIMENTO

As tipologias de ensaio de solo e seus respectivos aparatos e equipamentos mais comumente utilizados no Brasil são, em sua grande maioria, de médio e grande porte com diversidade de peças e de ferramental específico, haja vista os *Ensaios de Placa*, a sondagem SPT, o Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR, dentre outros; exceção feita por alguns equipamentos portáteis tais como o *Penetrômetro*, o *Geogauge* e o exemplar LFWD - Light Falling Weight Deflectometer.

Com relação ao procedimento e ao conceito de funcionamento do novo aparato, ficou definido que o equipamento realizaria o levantamento das tensões e dos deslocamentos pela aplicação progressiva de carga sobre o solo limpo e nivelado. As cargas seriam aplicadas por meio de um pistão ligado ao eixo de um motor de passo sem a necessidade de utilização de contrapesos em caminhões ou outros elementos de carga. O contrapeso reativo necessário seria fornecido pelo peso próprio do operador/técnico aplicado verticalmente sobre o equipamento com a intenção de tornar o ensaio mais prático além da possibilidade inovadora do aparelho poder vir a ser utilizado dentro de tubulões, sapatas ou blocos.

Desta forma, preliminarmente, optou-se pela elaboração de um *Protótipo* que detivesse uma configuração volumétrica o mais compacta e menor possível. Os elementos que compusessem o protótipo deveriam possibilitar o manuseio simples e o transporte ágil além de proporcionar rápida manipulação dos acessórios durante os trabalhos. Ao término dos testes de uso do equipamento preliminar - protótipo e com a experiência adquirida na sua fabricação, foi possível elaborar, com segurança, o projeto do *Equipamento Piloto/Final* totalmente confeccionado em aço carbono, material de alta resistência, durabilidade e estabilidade, necessários para o refinamento do ensaio.

7.1. Protótipo

Basicamente, o protótipo possui 02 conjuntos estruturados sendo um conjunto fixo que dá suporte ao pistão (carcaça e mesa fixa) e outro conjunto móvel que é formado pela união de duas placas (mesa móvel), pela célula de carga e pelo pistão por meio de do qual é aplicada a carga sobre o solo. Para esta estruturação foi utilizado um painel de média densidade – MDF de 15 mm revestido com uma cobertura melamínica que proporciona mais resistência à umidade. Após a finalização do projeto técnico/executivo no programa AutoCad,

as mesas, as laterais, o tampo, a base e o pistão foram cortados em mesa fresadora CNC (Router) para proporcionar um perfeito acabamento. Posteriormente, as partes foram fixadas entre si com parafusos metálicos de rosca soberba para possibilitar a desmontagem e a manutenção dos componentes. Os dois conjuntos foram montados em um volume único. Apesar destas características, ainda era necessário um contrapeso para estabilização do protótipo, sem o qual não seria possível o impulsionamento (penetração) do pistão contra o solo. A utilização do **peso próprio do operador/técnico**, ao mesmo tempo em que monitoraria o teste, serviria de contrapeso evitando a reação vertical do aparelho (Figura 46).

Para verificação dos deslocamentos foi instalado um sistema de leitura linear de deslocamento vertical – LVDT com a ponteira metálica apoiada sobre a mesa móvel a fim de se obter a distância H-0 (altura zero), base de medida de referência para os deslocamentos.

O mecanismo de funcionamento consiste em um pistão de pressão com 3,0 cm de diâmetro que é deslocado em única direção e sentido (verticais) por meio de um motor de passo elétrico de resistência máxima 100 Kg de modo que a célula de carga sobre ele fixada, por meio de um fuso em conjunto com outros componentes eletrônicos de leitura, realize os levantamentos apropriadamente. O pistão tem um deslocamento máximo de 30 mm. Quando atingido este limite, automaticamente, encerram-se as verificações retornando o pistão à sua coordenada inicial de trabalho. Os dados são repassados, em tempo, para o celular via *bluetooth* por meio do aplicativo livre *Serial Bluetooth Terminal*[45]. Instalou-se junto à fonte de energia um interruptor de segurança. Caso ocorresse algum sinistro durante os testes que viessem a comprometer a integridade do técnico ou do aparelho, um botão poderia ser facilmente acionado. Após o término do ensaio, os dados foram organizados e filtrados no computador via aplicativo *Microsoft Excel* para que pudessem ser verificados os resultados e as comparações com *Ensaios de Placa*, dentre outros.

O ponto de partida para a escolha do diâmetro do pistão foi baseado no cálculo das Tensões Admissíveis pelo *Método Semiempírico de Milton Vargas* (1960) que estipula Fatores[46] para 6 tipologias de solo. Alguns projetistas consideram o Fator **K_{MV}** = 5,0 (Areia) para o cálculo em seus projetos e outros o fator **K_{MV}** = 7,0 (Argila), sendo, este último, o Fator utilizado para os cálculos de definição do diâmetro do pistão. Em decorrência desta escolha,

[45] **Serial Bluetooth Terminal**. Fonte: https://play.google.com – Terminal para dispositivos seriais conectados com Bluetooth Clássico/LE. Oferecido por Kai Morich em 30 de novembro de 2016.
[46] **Fator K_{MV} dado em Kgf/cm².** Detalhe do Método de Milton Vargas é tratado na página 141.

o aparelho deveria ser capaz de imprimir sobre o solo uma pressão maior que a tensão de 7 Kgf/cm² (0,69 MPa) a fim de verificar a *Tensão Limite* na ponta, em outras palavras, o procedimento de ensaio deveria ser capaz de testar a resistência do solo além da tensão admissível adotada pelo método/fator, caso contrário, haveriam restrições em função das limitações de pressão no ensaio.

A primeira tentativa de escolha foi realizada com um diâmetro de 4 cm de pistão. Desta forma, a carga de contrapeso de 72 Kg (técnico) mais o peso próprio do equipamento, 10 Kg, dividido pela área de 12,57 cm² do pistão, determinou uma tensão máxima correspondente a 6,53 Kgf/cm² (0,64 MPa), ou seja, o aparelho não teria condições de imprimir tensões maiores ou iguais a 7 Kgf/cm² (0,69 MPa).

Para que fossem atingidas as tensões desejadas neste caso, seria necessário que o operador/técnico tivesse um peso mínimo aproximado de 125 Kg, muito além da média[47] nacional de peso. Assim, uma segunda tentativa foi realizada com a diminuição de 1 centímetro no diâmetro anterior, isto é, um pistão com 3 cm de diâmetro.

Retomando-se os cálculos, a carga de contrapeso de 72 Kg (técnico) mais o peso próprio do equipamento, 10 Kg, dividido pela área de 7,07 cm² do pistão, determinou uma tensão máxima correspondente a 11,60 Kgf/cm² (1,15 MPa), ou seja, o equipamento teria condições de pressionar o solo além do limite estabelecido, respeitando-se o peso médio do brasileiro. As duas proposições de pistão e os respectivos cálculos iniciais podem ser conferidos na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Cálculo da Capacidade Máxima de Tensão do Equipamento

PESO EQUIP. (Kg)	CONTRAPESO OPERADOR (Kg)	CARGA SOBRE SOLO (Kg)	DIÂMETRO PISTÃO (cm)	ÁREA PISTÃO (cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)
10,00	**72**	**82,00**	**4,00**	**12,57**	**6,53**	**0,640**
PESO EQUIP. (Kg)	**CONTRAPESO OPERADOR (Kg)**	**CARGA SOBRE SOLO (Kg)**	**DIÂMETRO PISTÃO (cm)**	**ÁREA PISTÃO (cm2)**	**TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)**	**TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)**
10,00	**72**	**82,00**	**3,00**	**7,07**	**11,60**	**1,138**

Fonte: Tabela do Autor.

[47] **A pesquisa do IBGE** identificou que dos 20 aos 24 anos, as medianas de altura e peso do homem brasileiro são, respectivamente, 1,73 m e 69,4 kg. Fonte: (ASBRAN, 2021) [12 novembro 2021].

Nas Figuras 37, 38 e 39 a seguir, é possível verificar o desenho e o mapa esquemático dos componentes que orientou o projeto executivo e a fabricação do protótipo para a posterior realização dos procedimentos de ensaio de *Tensão Limite*, os quais foram:

f) 01 Fonte externa 9 V;
g) 01 Mesa fixa e 01 mesa móvel em MDF 15 mm;
h) 01 Motor de passo de 100 Kgf e 01 Driver de passo;
i) 01 Conversor digital/analógico motor;
j) 01 Controlador Raspberry[48];
k) 01 Circuito Bluetooth;
l) 01 Fuso metálico;
m) 01 Célula de carga;
n) 01 Pistão 3 cm de diâmetro;
o) 01 Leitor linear de deslocamento – LVDT;
p) 01 Conversor digital/analógico;
q) 01 Caixa de vedação em MDF 15 mm.

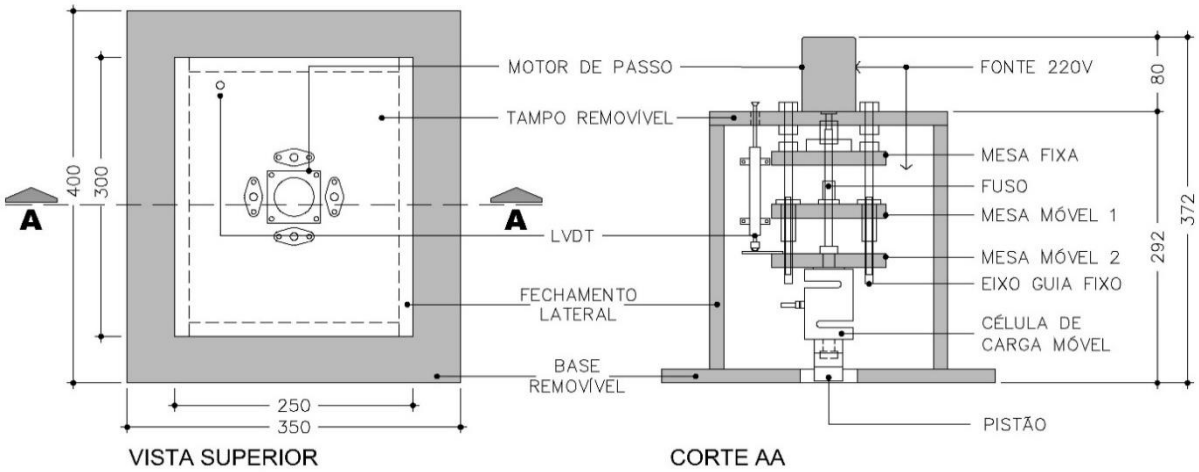


Figura 37: Projeto executivo do equipamento; cotas em milímetros.
Fonte: Desenho do Autor.

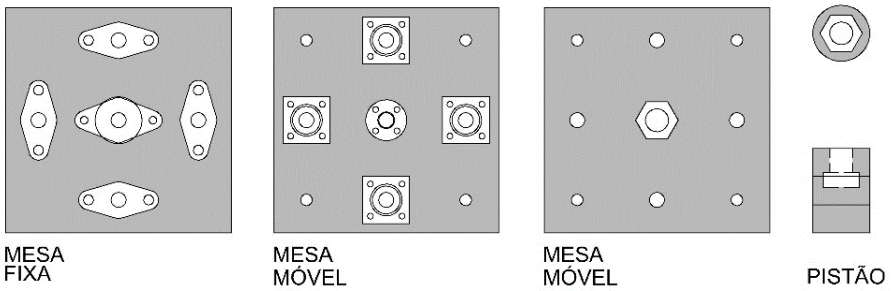


Figura 38: Detalhe das mesas fixa e móveis e pistão de MDF envolvendo parafuso da célula de carga. Fonte: Desenho do Autor.

[48] "**O Raspberry** Pi é um minicomputador, semelhante ao PC ou notebook que você tem em casa ou no trabalho. A diferença é que este dispositivo é compacto e possui todos os principais componentes de um computador numa pequena placa do tamanho de um cartão de crédito. O dispositivo foi criado no Reino Unido pela Fundação Raspberry Pi, uma organização sem fins lucrativos focada na promoção e no ensino de ciência da computação básica para jovens em escolas e universidades da Europa, com produtos de preço acessível."
Fonte: https://olhardigital.com.br/2019/02/18/noticias/raspberry-pi-o-que-e-para-que-serve-e-como-comprar/ Pesquisado em: 22 de outubro de 2021.

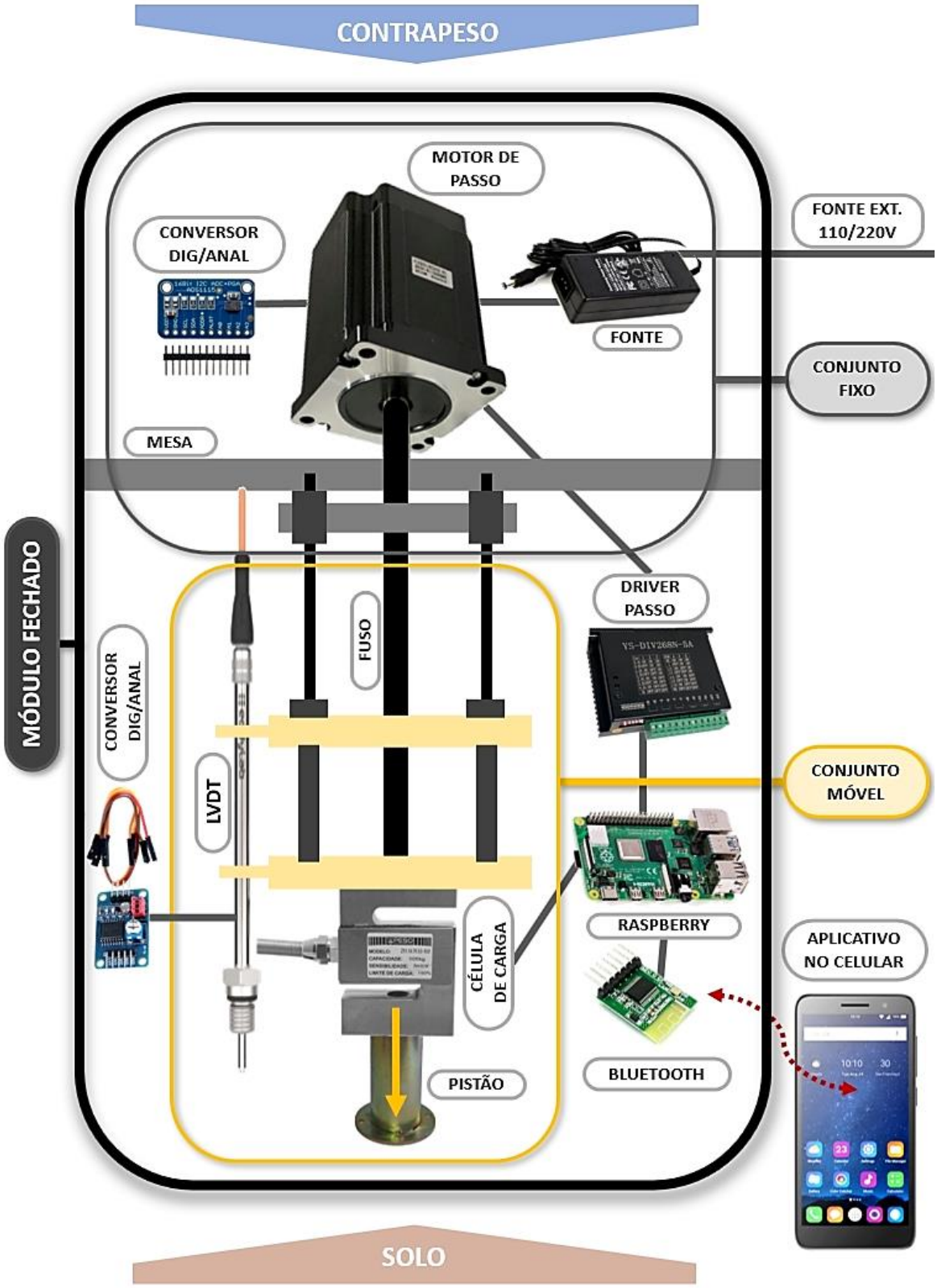


Figura 39: Mapa de componentes do equipamento Tensão Limite.
Fonte: Esquema e diagramação do Autor.

O equipamento *Tensão Limite* realiza a aplicação incremental de carga sobre o solo de maneira lenta e gradual (Figura 44) por meio de um pistão, assemelhando-se aos ensaios de Placa e ensaio CBR *in situ*, sendo ambos realizados em campo aferindo a capacidade de carga do solo.

A tensão é verificada por meio da relação entre a carga aplicada e a área do pistão que penetra o solo – pistão com diâmetro 3 cm e área 7,07 cm² (Figura 40); o deslocamento é também aferido simultaneamente. Por meio de um aplicativo, via celular (Figura 41) e do controlador Raspberry (Figura 42), é possível registrar todos os dados de carga e de deslocamento para posterior compilação via planilha da Microsoft Excel.

O ensaio propriamente dito, verifica as tensões máximas possíveis até o limite de carga do protótipo bem como os deslocamentos/penetrações no solo. As análises baseiam-se em curvas de *tensão x deslocamento* que apontam a evolução da resistência mobilizada com o aumento da carga aplicada. **A vantagem está na possibilidade de serem efetuados, *in situ,* vários testes diretamente na mesma fundação e em diferentes pontos do terreno com grande rapidez e praticidade sem necessidade de corpos de prova. A depender do tipo de solo, o processo de ensaio completo tem a duração aproximada de 20 a 60 minutos com a possibilidade de liberação da fundação observando a carga e o deslocamento medidos pelo equipamento.**

Com resistência/carga máxima de aplicação de 100 Kgf, pode-se dizer que o motor (Figura 43) é o "coração do equipamento" sendo necessários 200 passos para 1 volta completa do eixo. Um fuso foi acoplado ao eixo do motor que por sua vez desloca a "castanha" conectada à mesa móvel ligada mecanicamente a rolamentos lineares/unidirecionais em barras de aço trefiladas.

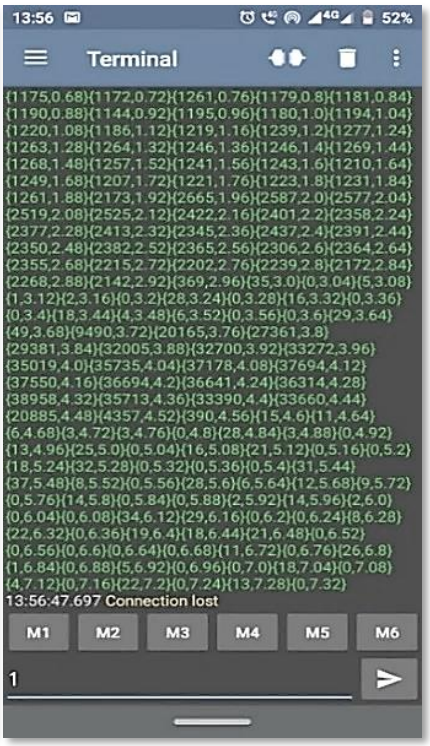


Figura 40: À esquerda, célula de carga sob pistão, ambos fixados na mesa móvel. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 41: À direita, aplicativo celular; cargas e deslocamentos. Fonte: Imagem do Autor.

Conectados à mesa móvel, o pistão e a célula de carga, ambos fixados à mesa móvel (Figura 45) são movimentados contra o solo. Além destes elementos, foi fixado o leitor de deslocamento linear – LVDT que, em contato com a mesa móvel, permitiu verificar os deslocamentos do pistão até o valor limite de 30 mm.

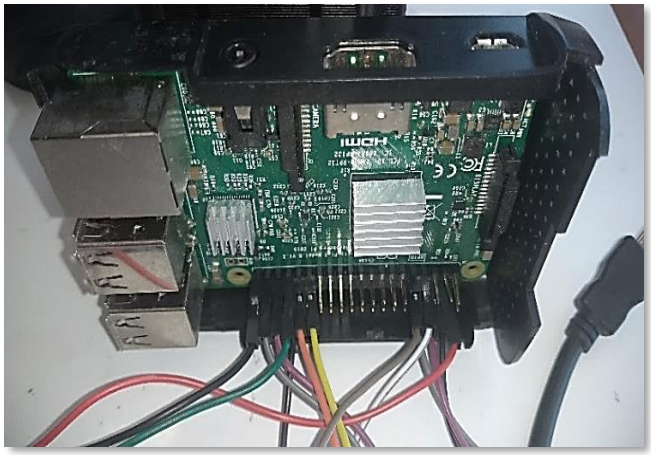


Figura 42: Detalhe controlador Raspberry.
Fonte: Imagem do autor.

Figura 43: Detalhe motor de passo 100Kg e leitor LVDT - 70 mm (haste à direita).
Fonte: Imagem do autor.

Figura 44: Construção equipamento; estrutura de madeira para conjugação dos componentes mecânicos e eletrônicos.
Fonte: Imagens do Autor.

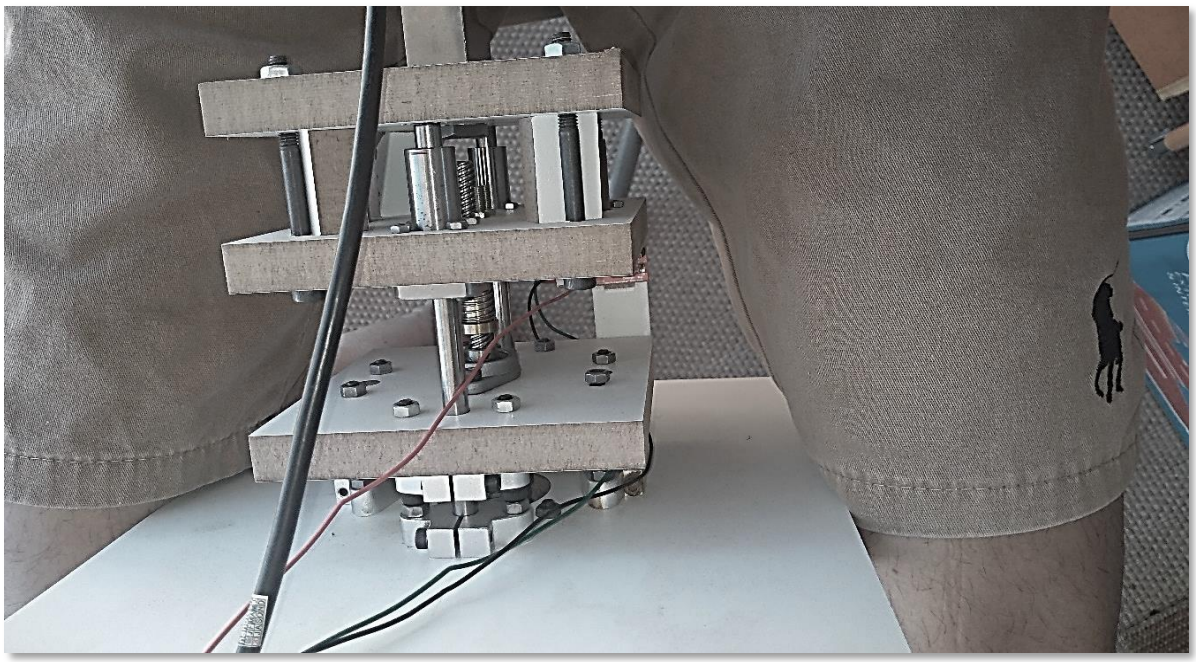


Figura 45: Detalhe da mesa fixa e das mesas móveis. À frente é possível observar o eixo guia fixo e ao centro encontra-se o fuso metálico ligado ao motor de passo que promove a movimentação da mesa e pistão. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 46: Equipamento Tensão Limite finalizado e pronto para os testes e detalhe da carga humana aplicada (contrapeso 72 Kg). Fonte: Imagens do Autor.

Neste momento da Tese, vale ser apresentado uma compilação dos ensaios e testes anteriormente estudados em conjunto com o equipamento de ensaio Tensão Limite. O quadro comparativo (Figura 47) visa promover uma visão geral dos aparatos tecnológicos envolvidos, dos métodos adotados, das tipologias de verificação e dos produtos resultantes ao término da realização de cada um deles.

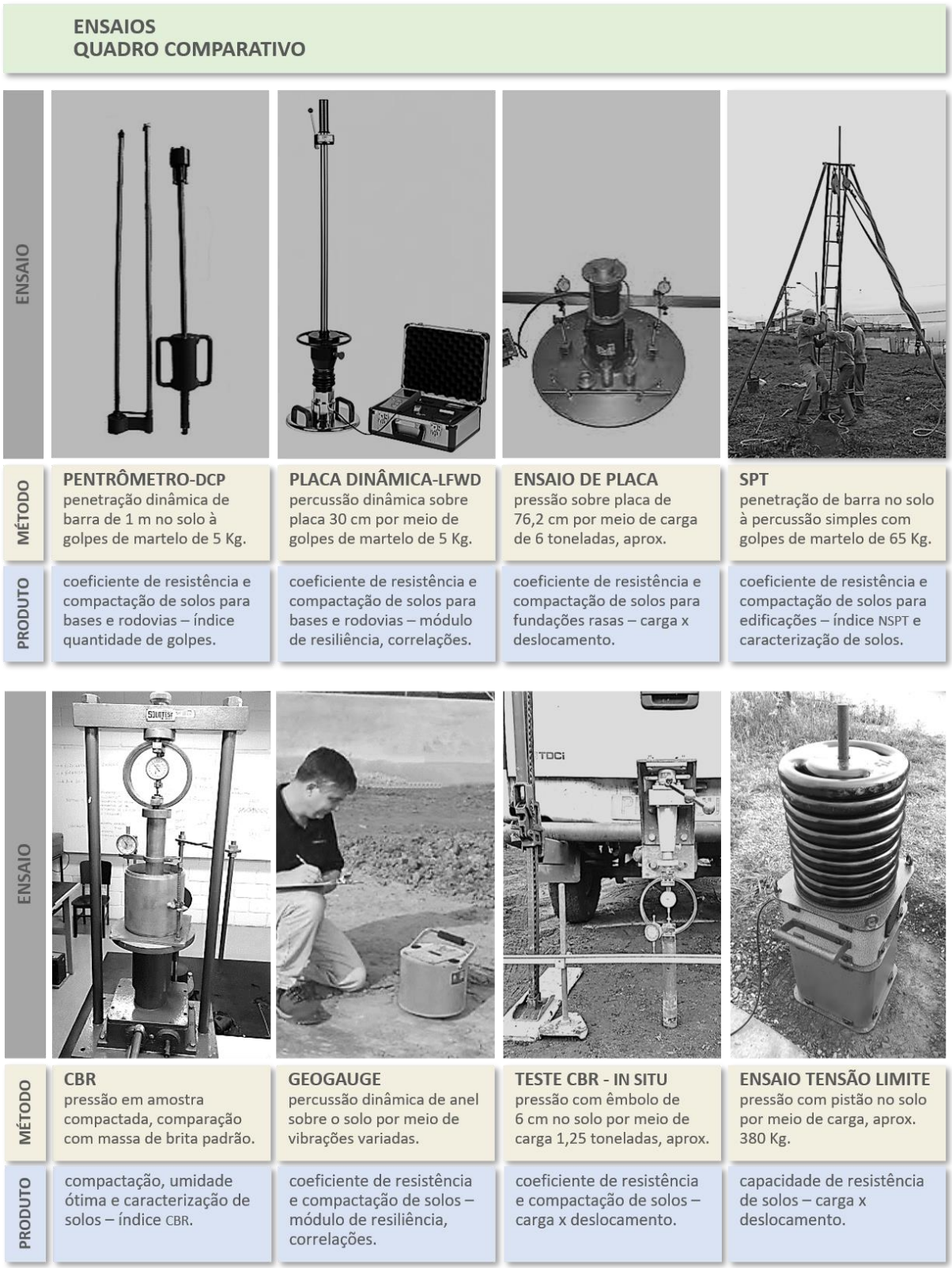


Figura 47: Quadro comparativo – Ensaios. Fonte: Quadro do Autor.

7.2. Ensaios Preliminares

Foram praticados 02 testes em locais distintos a fim de aferir o Protótipo e os procedimentos de ensaio de *Tensão Limite* (Figura 48), comparando os resultados obtidos com os *Ensaios de Placa* (Provas de Carga Direta sobre Terreno de Fundação[49]) realizados a pedido da **Administração Regional de Santa Maria (TESTE 01)** e a pedido de uma **Empresa Atacadista no Setor de Indústrias da Ceilândia (TESTE 02)**, respectivamente.

Os trabalhos realizados pelas empresas foram devidamente registrados no sentido de subsidiar as qualificações dos procedimentos e das ações a serem adotados nos ensaios e podem ser conferidos a seguir.

Figura 48: Ensaios de Placa em carga realizados. À esquerda ensaio em Santa Maria e à direita ensaio em Ceilândia. Placa de aço com 60 cm de diâmetro e cargas de, aproximadamente, 06 toneladas, carga máxima aplicada nos dois ensaios.
Fonte: Imagens do Autor.

Por meio de um acompanhamento, análise e avaliação criteriosa dos ensaios de placa e tendo como base os regulamentos da NBR 6489 (1984), foi possível determinar os seguintes procedimentos a serem ordenados previamente e durante os trabalhos com o protótipo - aparato tecnológico *Tensão Limite*.

a) Análise, avaliação e seleção do solo/base das fundações com as melhores condições de estabilidade para o acondicionamento equipamento (Figura 49);

[49] Conforme NBR **6489**.

Figura 49: Detalhe escolha do melhor local de teste. Fonte: Imagem do autor.

b) Limpeza preliminar do solo/base da fundação com a remoção de detritos, dentre outros elementos indesejáveis (Figura 50);

Figura 50: Detalhe limpeza e retirada de detritos e material solto.
Fonte: Imagem do Autor.

c) Nivelamento/planificação mecânica da superfície do solo/base da fundação (Figura 51);

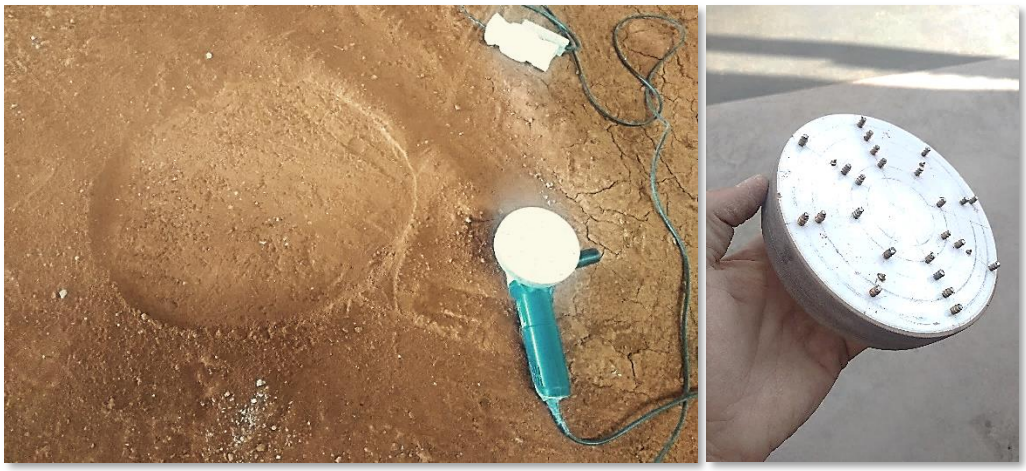


Figura 51: Detalhe da planificação e do disco dentado confeccionado pelo Autor.
Fonte: Imagem do Autor.

d) Verificação da estabilidade e acomodação do equipamento após o assentamento sobre o solo/base da fundação (Figura 52);

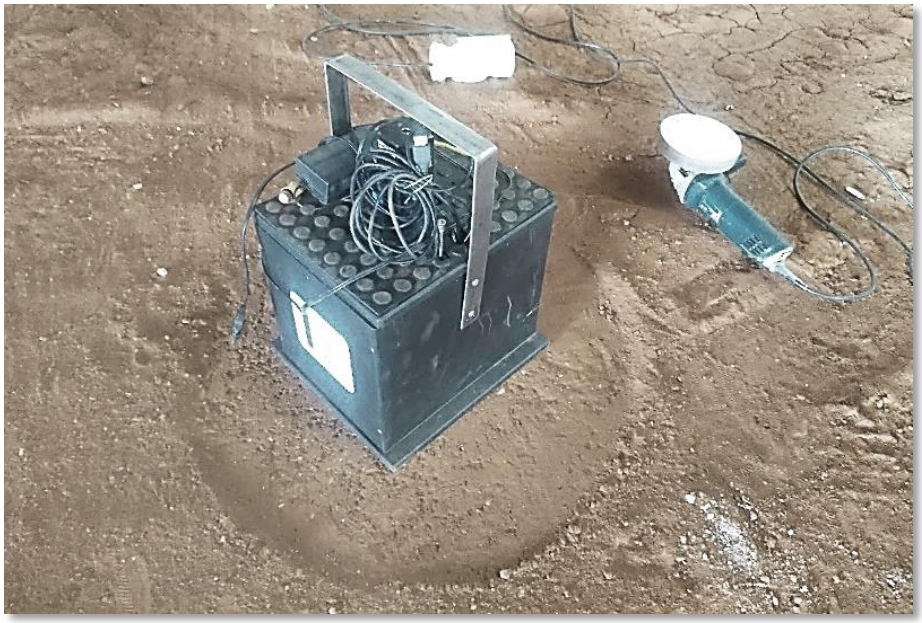


Figura 52: Detalhe acondicionamento do equipamento no solo.
Fonte: Imagem do Autor.

e) Testagem preliminar do equipamento para a posterior realização do procedimento de ensaio propriamente dito (Figura 53).

Figura 53: Testagem preliminar, mecânica e digital.
Fonte: Imagem do Autor.

TESTE 01 - A Administração Regional de Santa Maria – DF planeja realizar uma reforma civil na Feira Central da cidade com o acréscimo de mais um pavimento sobre os boxes existentes.

Para tanto, foram necessários algumas verificações e ensaios a fim de avaliar se o solo sob a laje do piso da feira suportaria o incremento de carga. Foram removidas parcelas do piso de concreto existente para que o solo nu fosse atingido para instalação dos equipamentos.

A maioria dos solos em regiões tropicais apresentam alta porosidade e grande sensibilidade em presença de água. O solo da Feira foi classificado como Laterítico, Latossolo vermelho-escuro (LE) (SILVA, 2021) e em condições normais de umidade - não saturado, devido à proteção promovida pela cobertura da feira. Foram realizados 05 ensaios de *Tensão Limite* no Furo 01 e 05 ensaios no Furo 03. Nas figuras a seguir, é possível observar a Feira Central de Santa Maria, o equipamento em carga (Figura 54 e 55) bem como o *Ensaio de Placa* (Figura 56).

Figura 54: Feira Central de Santa Maria.
Fonte: Google Maps. [22 de outubro 2021].

Figura 55: Ensaio de Tensão Limite, Feira de Santa Maria. Detalhe abertura do piso e peso próprio do operador/técnico/Autor. Equipamento em carga.
Fonte: Imagem do Autor.

Figura 56: Ensaio de Placa solicitado pela administração local e detalhe do caminhão carregado com brita servindo de contra peso sobre o macaco hidráulico e a placa de metal. Fonte: Imagem do Autor.

Conforme explicitado anteriormente, em paralelo aos ensaios realizados pela empresa e equipe técnica especializada, foram sendo efetuados os testes com o protótipo/equipamento. A seguir (Tabela 5 e Figura 57), é possível verificar a comparação dos 5 ensaios de Tensão Limite realizados no Ponto/Furo 01 com os resultados do Ensaio de Placa fornecidos.

Tabela 5: Resultados dos Ensaios no Ponto/Furo 01

TENSÃO LIMITE							
Ensaio de Resistência de Solo							
Cidade: SANTA MARIA, DF				**Ponto/Furo: 01**			
Local: Feira Central da Cidade				**Qtde Ensaios: 05**			
Data: 05 de maio de 2021				**Pesquisador:** Chico Júnior			
Dados do Equipamento							
PESO EQUIP. (Kg)	PESO ANILHA (Kg)	CONTRA-PESO OPERADOR (Kg)	CARGA MÁX. APLICADA PELO EQUIP. (Kg)	DIÂMETRO DO PISTÃO (cm)	ÁREA DO PISTÃO (cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)
10,00	0,00	72	82,00	3,00	7,07	11,60	0,69
Dados do Ensaio 1							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
71,40	59,40	12,00	56,43	7,98		0,78	

Dados do Ensaio 2					
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)	(MPa)
68,00	52,40	15,60	55,56	7,86	0,77

Dados do Ensaio 3					
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)	(MPa)
68,20	54,50	13,70	63,98	9,05	0,89

Dados do Ensaio 4					
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)	(MPa)
66,10	57,10	9,00	69,60	9,85	0,97

Dados do Ensaio 5					
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)	(MPa)
64,50	50,90	13,60	39,58	5,60	0,55

Fonte: Tabela do Autor.

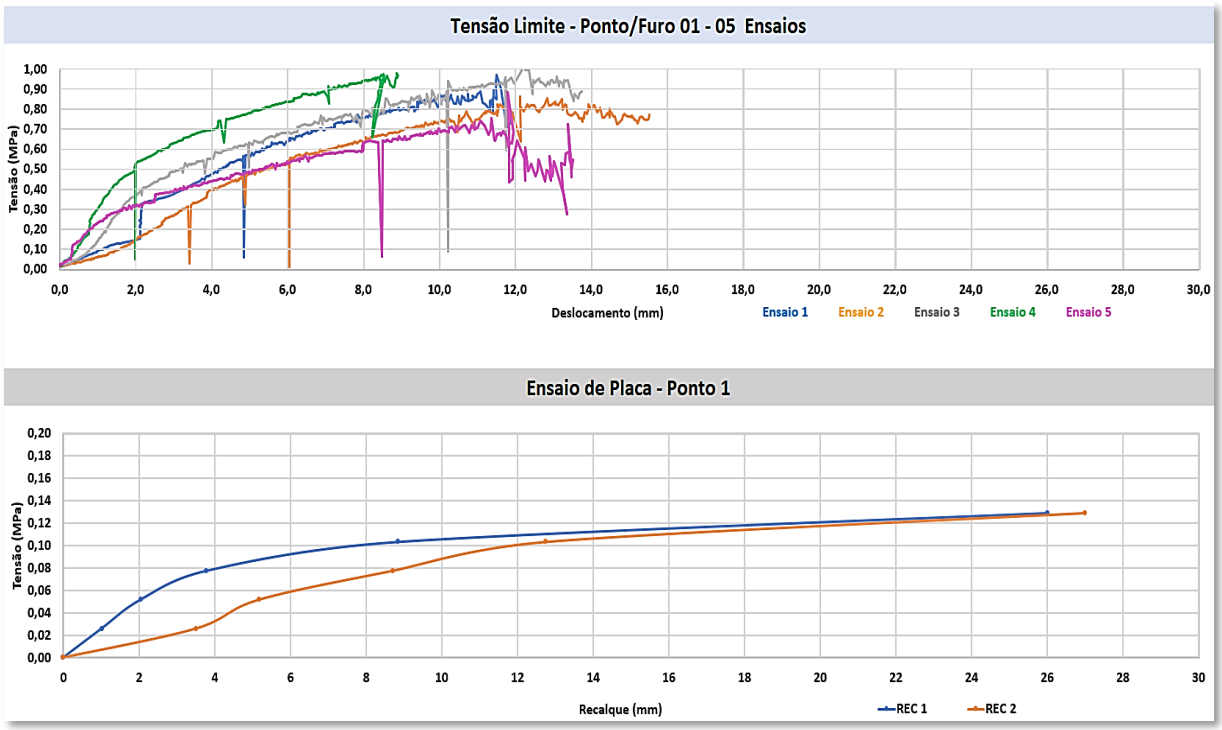


Figura 57: Comparação entre 5 ensaios de Tensão Limite, Furo 01 e as curvas do Ensaio de Placa.
Detalhe: no final das curvas a apresentação de pequenas oscilações foi decorrente de pequenas vibrações do equipamento quando próximo da aplicação máxima de tensão.
Fonte: Gráfico ensaio Tensão Limite, Autor e Ensaio de Placa, (SILVA, 2021).

A Tabela 6 e Figura 58, em sequência, demonstram os resultados do segundo teste de Tensão Limite (05 ensaios) realizado no Ponto/Furo 03 localizado na área central da Feira comparado com o Ensaio de Placa do local.

Tabela 6: Resultados dos Ensaios no Ponto/Furo 03

TENSÃO LIMITE							
Ensaio de Resistência de Solo							
Cidade: SANTA MARIA, DF				**Ponto/Furo: 03**			
Local: Feira Central da Cidade				**Qtde Ensaios: 05**			
Data: 05 de maio de 2021				**Pesquisador:** Chico Júnior			
Dados do Equipamento							
PESO EQUIP. (Kg)	PESO ANILHA (Kg)	CONTRA-PESO OPERADOR (Kg)	CARGA MÁX. APLICADA PELO EQUIP. (Kg)	DIÂMETRO DO PISTÃO (cm)	ÁREA DO PISTÃO (cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)
10,00	0,00	72	82,00	3,00	7,07	11,60	1,14
Dados do Ensaio 1							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
68,40	65,00	3,40	41,49	5,87		0,58	
Dados do Ensaio 2							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
70,90	60,50	10,40	45,61	6,45		0,63	
Dados do Ensaio 3							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
69,40	64,10	5,30	55,42	7,84		0,77	
Dados do Ensaio 4							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
68,50	62,20	6,30	39,21	5,55		0,54	
Dados do Ensaio 5							
COTA INIC. LVDT (mm)	FINAL LVDT (mm)	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO (mm)	CARGA MÁX. APLICADA (Kg)	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (Kgf/cm2)		TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO (MPa)	
69,20	63,60	5,60	45,54	6,44		0,63	

Fonte: Tabela do Autor.

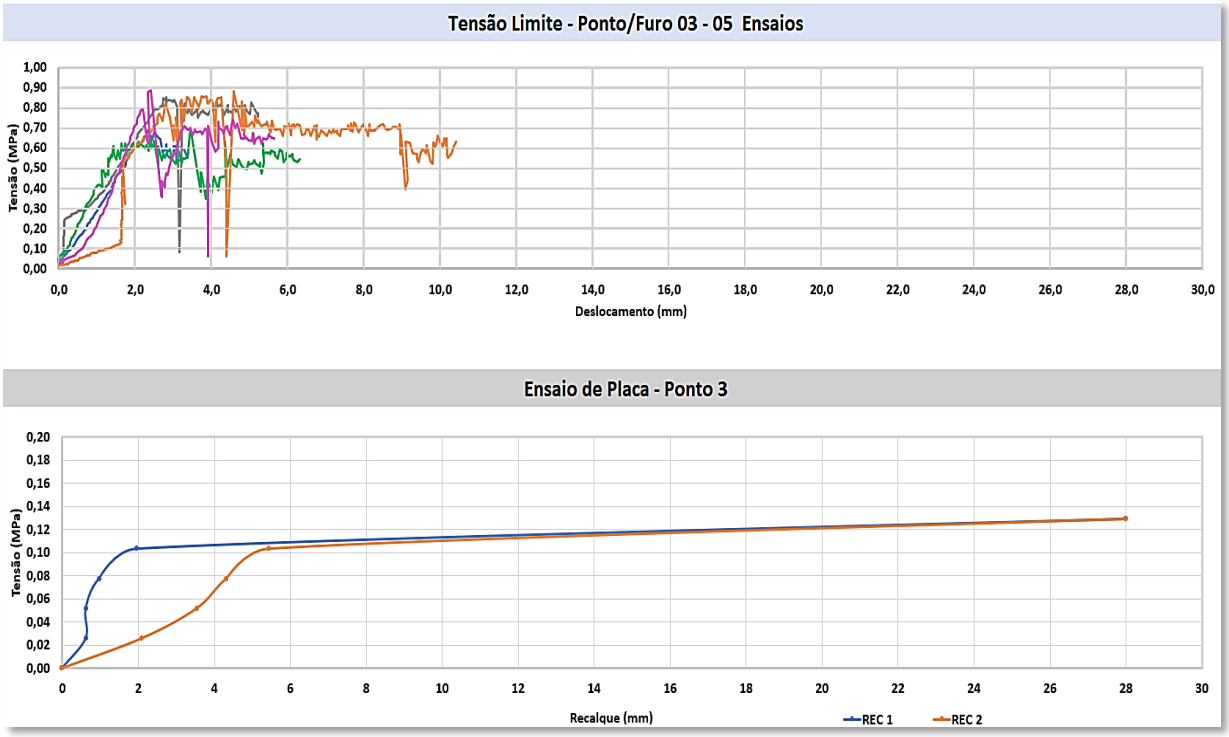


Figura 58: Comparação entre 5 ensaios de Tensão Limite, Furo 03 e as curvas do Ensaio de Placa.
Detalhe: no final das curvas a apresentação de pequenas oscilações foi decorrente de pequenas vibrações do equipamento quando próximo da aplicação máxima de tensão.
Fonte: Gráfico ensaio Tensão Limite, Autor e Ensaio de Placa, (SILVA, 2021).

Nas Figuras 59 e 60 a seguir, é possível verificar o equipamento em funcionamento bem como as marcações deixadas no solo pelo pistão do protótipo.

Figura 59: Furo 03. Detalhe protótipo em funcionamento. Fonte: Imagem do Autor.

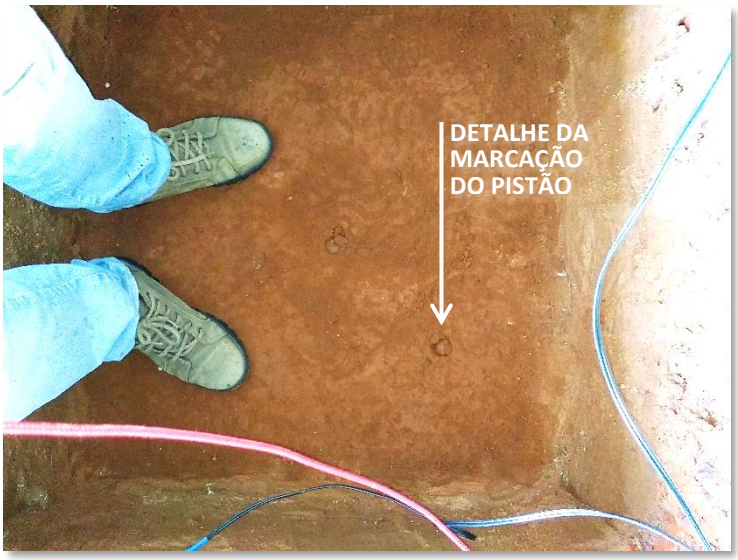


Figura 60: Ponto/Furo 01. Detalhe das marcas do pistão no solo após ensaios. Fonte: Imagem do Autor.

Durante a realização dos testes com o equipamento/protótipo foi possível constatar as seguintes informações e caracterizações a fim de subsidiar a fabricação do Equipamento Piloto:

a) Inicialmente, a estratégia do contrapeso sobre o aparelho consistia na aplicação do peso próprio do operador/técnico a fim de agilizar o processo, porém, a carga de 72 Kg, aproximadamente, demonstrou-se aquém do necessário para estabilização do equipamento que em alguns momentos durante o ensaio, ocasionalmente, ocorriam pequenas vibrações, em outras palavras, o peso aplicado sobre o equipamento ainda não era o suficiente para a estabilização total do conjunto. É possível verificar na curva resultante *tensão x deslocamento* algumas anotações dessas pequenas vibrações, contudo, não afetaram os ensaios.

   Esta ocorrência direcionou a decisão pela fabricação de 07 blocos de concreto armado de 25 Kg (Figura 61) que, empilhados, somariam um total de 175 Kg, carga suficiente para estabilização e a realização de outros novos testes conforme pode ser verificado na Tabela 7, a seguir.

Tabela 7: Cálculo Capacidade Máxima de Tensão para o Equipamento com Blocos de Concreto

PESO EQUIP. (Kg)	CONTRAPESO BLOCOS (Kg)	CARGA SOBRE SOLO (Kg)	DIÂMETRO PISTÃO (cm)	ÁREA PISTÃO (cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)
10,00	**175**	**185,00**	**3,00**	**7,07**	**26,17**	**2,567**

Fonte: Tabela do Autor.

Figura 61: Blocos fabricados pelo Autor para aplicação sobre o equipamento, total 175 Kg.
Fonte: Imagem do Autor.

b) Foi possível, por meio de análise da relação entre tensão e deslocamento em ambos os testes, conferir as curvas dos ensaios de Tensão Limite e os *Ensaios de Placa;* o protótipo foi efetivo na análise da resistência do solo em comparação com o *Ensaio de Placa*, este último, consagrado e regulamentado em norma.

TESTE 02 - Um grande galpão em construção no Setor Industrial da Ceilândia, Distrito Federal, será a sede de uma empresa atacadista. Grandes cargas serão estocadas sobre o piso e, portanto, foi necessário a verificação da capacidade de suporte do solo (Figuras 62 e 63).

O solo da camada superficial à profundidade de 22 metros, conforme sondagem SPT realizada pela empresa, é constituído e caracterizado por Aterro de Argila compactado, mole; Argila Arenosa, cor marrom variegado, mole; Areia pouco argilosa, cor marrom variegada, pouco compacta; Areia Siltosa, cor marrom variegado e Areia Siltosa, cor marrom variegado, muito compacta (HNS, 2021).

A equipe contratada efetuou 05 ensaios de placa em pontos diferentes, além da sondagem SPT (em anexo). Manualmente, por meio de uma talhadeira, foi possível verificar que o piso se encontrava extremamente compactado em condições normais de umidade - não saturado, devido à proteção promovida pela cobertura metálica. Optou-se por medida cautelar efetuar apenas 01 teste de Tensão Limite no **Ponto 3** uma vez que durante a realização do ensaio foram atingidos os limites máximos de aplicação de carga do motor de passo e da capacidade estrutural das mesas/estrutura do equipamento.

Figura 62: Galpão na Ceilândia, local do ensaio de resistência de solo compactado.
Fonte: Imagem do Autor.

Figura 63: Detalhe piso compactado e estrutura do Galpão na Ceilândia e local do ensaio de resistência de solo. Fonte: Imagem do Autor.

A fonte de energia elétrica foi proveniente de um gerador à combustão oferecido pelos trabalhadores da obra e utilizado durante a realização de todos os ensaios e procedimentos. A experiência adquirida com o teste anterior na Feira Central de Santa Maria auxiliou na qualificação do procedimento de ensaio no *Galpão de Ceilândia* oportunidade em que, em detrimento do contrapeso/carga humana, foram utilizados os blocos de concreto previamente confeccionados e melhor adequados para evitar pequenas vibrações no conjunto.

Além desta alteração, foi adicionado na base do equipamento, mais precisamente na face inferior que toca o solo, uma placa de EVA de 3 mm a fim de auxiliar o assentamento do conjunto. Após seguidos todos os procedimentos de ensaio, foram instalados os blocos de concreto sobre a caixa e dado o início do teste propriamente dito.

As Figuras 64 e 65, a seguir, demonstram as peculiaridades do procedimento de ensaio de *Tensão Limite*.

Figura 64: Teste em laboratório com o contrapeso sobre equipamento e carga aplicada durante os procedimentos de ensaio. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 65: Detalhe do Ensaio de Placa e ensaio de Tensão Limite; equipamento sobre base planificada. Fonte: Imagem do Autor.

A seguir, na Tabela 8 e Figura 66, é possível verificar as comparações gráficas do ensaio de *Tensão Limite* e a curva de carga e recalque do Ensaio de Placa.

Tabela 8: Dados Preliminares do Equipamento e Dados Resultantes do Ensaio

TENSÃO LIMITE							
Ensaio de Resistência de Solo							
Cidade: CEILÂNDIA, DF				**Ponto/Furo: 03**			
Local: Galpão Empresa Atacadista				**Qtde Ensaios: 01**			
Data: 18 de maio de 2021				**Pesquisador:** Chico Júnior			
Dados do Equipamento							
PESO EQUIP.	PESO BLOCO	QTDE BLOCOS	CARGA MÁX. APLICADA PELO EQUIP.	DIÂMETRO DO PISTÃO	ÁREA DO PISTÃO	TENSÃO MÁX. EQUIP.	
(Kg)	(Kg)	(unid)	(Kg)	(cm)	(cm2)	(Kgf/cm2)	(MPa)
10,00	25,00	7	185,00	3,00	7,07	26,17	2,57
Dados do Ensaio 1							
COTA INIC. LVDT	FINAL LVDT	DESLOCAMENTO MÁX. NO ENSAIO	CARGA MÁX. APLICADA	TENSÃO MÁX. ATINGIDA NO ENSAIO			
(mm)	(mm)	(mm)	(Kg)	(Kgf/cm2)	(MPa)		
74,84	72,81	2,03	73,79	10,44	1,02		

Fonte: Tabela do Autor.

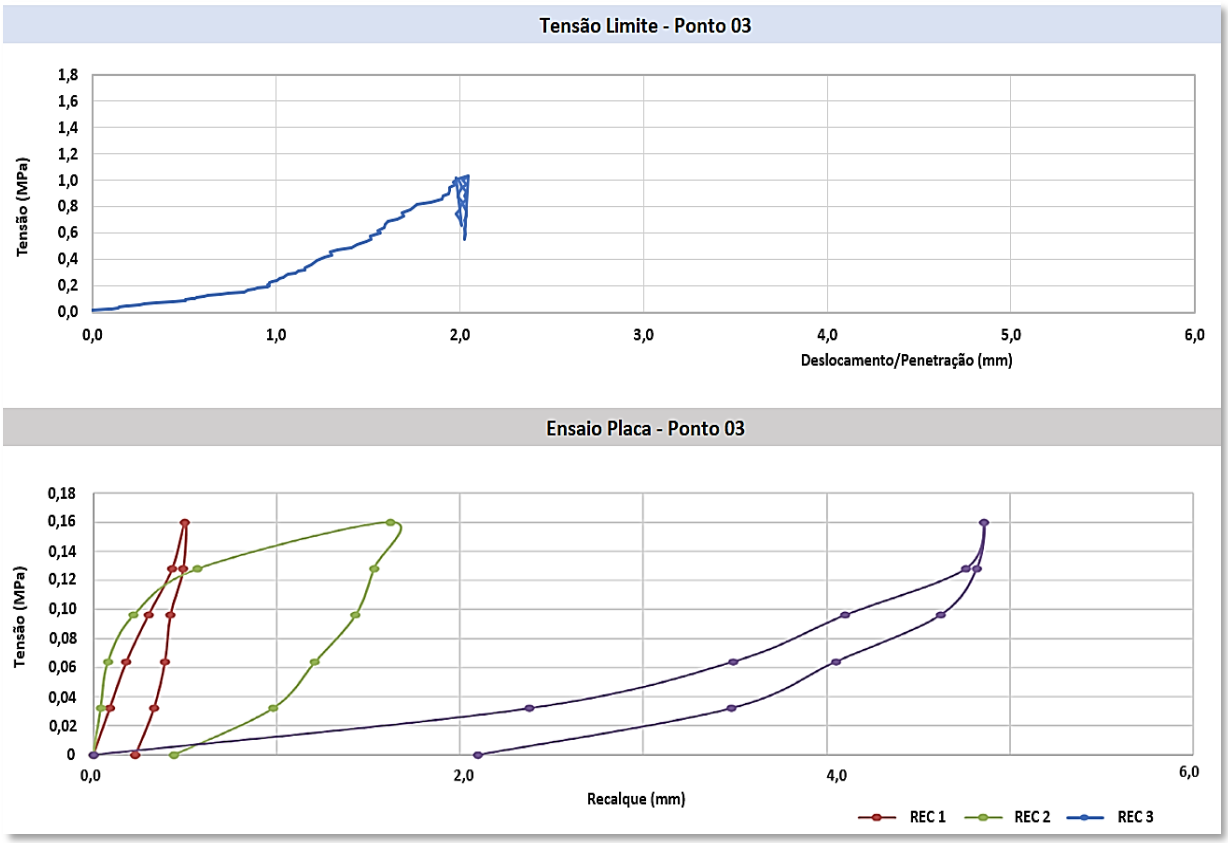


Figura 66: Comparação entre a curva do ensaio Tensão Limite, Ponto 03 e a curva do Ensaio de Placa no Ponto 03. Detalhe: no final da curva a apresentação de pequenas oscilações foi decorrente de pequenas vibrações do equipamento quando próximo da aplicação máxima de tensão.
Fonte: Gráfico ensaio de Tensão Limite, Autor e Ensaio de Placa, (HNS, 2021).

Durante a realização do teste – ensaio de *Tensão Limite* no Galpão de Ceilândia foi possível obter as seguintes informações bem como tecer as seguintes considerações:

a) Em que pese algumas limitações estruturais da caixa de vedação e das mesas, o protótipo demonstrou-se eficiente. O solo se encontrava extremamente compactado e duro, todavia, o aparato conseguiu registrar 2 mm de deslocamento do pistão, resultado compatível com a condição do solo e a capacidade limitada do aparelho;
b) Na região final do gráfico/curva *tensão x deslocamento*, foi possível observar o registro de alguns picos descendentes e ascendentes. Este fenômeno foi resultante da aplicação da capacidade máxima de carga (tensão 1,03 MPa - 10,50 Kgf/cm²) suportada pelo equipamento (Tensão Limite) que, ao forçar a penetração do pistão no solo duro, era passível das reações gerando pequenas vibrações no conjunto. Ainda assim, neste caso, houve um avanço com relação ao teste realizado na Feira Central de Santa Maria uma vez que a carga se mostrou suficiente para a estabilização do equipamento. A ocorrência dos picos ao final do ensaio pode ser entendida como uma ocorrência normal devido à grande compactação da base;
c) Uma vez que não foi mais necessário o contrapeso do operador/técnico, o teste pôde ser melhor monitorado e controlado. Esta condição, em consequência, agilizou os trabalhos fazendo com que os procedimentos de ensaio pudessem ser realizados mais rapidamente que na Feira Central de Santa Maria.
d) De modo similar aos testes de Santa Maria, foi possível verificar que os resultados quando comparados com as curvas *tensão x recalque* do Ensaio de Placa, foram decorrentes das condições de suporte do solo, isto é, considerando-se os valores proporcionais de pressão de cada ensaio, o procedimento de Tensão Limite pôde ser considerado eficiente.

7.3. Equipamento Piloto

Por meio dos testes realizados na **Feira Central de Santa Maria** (TESTE 01) e no **Galpão de Ceilândia** (TESTE 02), foi possível **analisar e avaliar alguns aspectos a fim de que pudessem ser ajustados durante o processo de fabricação do Equipamento Piloto - Ensaio de *Tensão Limite*.** Neste sentido, melhorias foram incrementadas a fim de qualificar a coleta de dados com consequente refinamento dos resultados e comparações, isto é, com as alterações o novo equipamento estaria apto a vir a ser utilizado como procedimento de ensaio complementar na geotecnia.

O contrapeso sobre o equipamento é de fundamental importância para a estabilização do conjunto bem como na aplicação uniforme de carga sobre o solo por meio do pistão. Um registro ainda mais preciso das cargas e deslocamentos aplicados no solo pode ser alcançado aplicando-se mais contrapeso sobre o equipamento. Anilhas de aço, além de serem mais pesadas que o concreto, são pouco volumosas facilitando o transporte e o manuseio durante o procedimento (Figura 67). Além destas características, as anilhas quando empilhadas permitem um perfeito ajuste de prumo do equipamento em razão da pouca espessura das peças. Para tanto, foi utilizado um nível de superfície de 360 graus e dois níveis de bolha. Foram adotadas 10 anilhas com 25 Kg cada, totalizando 250 Kg.

Figura 67: Da esquerda para a direita: 1 - Proposta inicial de contrapeso – operador/técnico, aproximadamente 72 Kg; 2 - Avanço no volume de carga com a fabricação de blocos de concreto armado e incremento no contrapeso, total de 175 Kg; 3 - Proposta final com anilhas de aço carbono totalizando 250 Kg sobre o equipamento Tensão Limite. Fonte: Imagens do Autor.

Mantendo-se uma carga fixa, quanto menor a área de base do pistão maiores serão as tensões aplicadas sobre o solo. Por outro lado, quanto maior a área da placa/pistão mais abrangência sobre a camada de interesse, decorrência do bulbo de pressão. A restrição se encontra no fato de que são necessárias cargas muito maiores nestes casos, haja vista o ensaio de placa que utiliza o mínimo de 6 toneladas. Segundo a NBR 6122 (2019), a tensão admissível ou a tensão resistente de projeto podem ser estimadas segundo métodos teóricos, semiempíricos ou por meio de provas de carga sobre placa.

> Provas de carga são pouco usadas, ainda que se apresentem como uma alternativa importante para estudo da compressibilidade de areias, argilas fissuradas e, principalmente, de solos residuais. **As maiores dificuldades práticas ao seu emprego residem no tempo necessário para sua execução e na dificuldade de acesso à camada de interesse**, numa época em que os edifícios rotineiramente têm dois subsolos de garagem (apoio de sapatas a 7-8 m de profundidade, frequentemente abaixo do nível da água). Ensaios *in situ* mais modernos como o Pressiômetro Menard, o Dilatômetro Marcheti e outros ainda não estão incorporados à prática de fundações brasileira (FALCONI, 2019, p. 232) [grifo nosso].

Por outro lado, o ensaio de Tensão Limite quando realizado no canteiro após a etapa de *preparação das fundações* (Processo de Projeto e Execução de Fundações, Figura 68) na camada da base da fundação - cota de assentamento (Figura 69), **tem condições de gerar resultados para comparação** com outros laudos do tipo SPT, CPT, Placa, DCP, dentre outros. Tomando-se como exemplo uma sapata, podem ser realizados 5 verificações ou mais em um único elemento em pontos distintos (Figura 70) proporcionando um excelente escopo de verificação do solo de assentamento da fundação, **sem a necessidade de utilização de contrapesos em caminhões ou outros elementos de carga.** Após análises e verificações, a fundação **poderá ser liberada para concretagem ou receber ajustes de projeto para adequar-se à capacidade de suporte verificada/solicitações.**

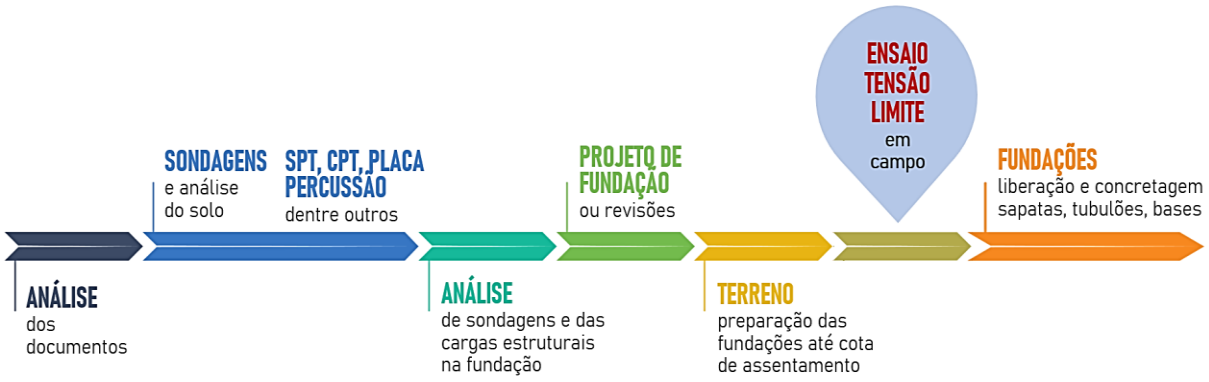


Figura 68: Diagrama processo de projeto e execução de fundações com destaque na etapa de utilização do equipamento/ensaio de tensão limite (adaptação do Autor).
Fonte: (CIVILSOLO, 2013) [15 de janeiro 2023].

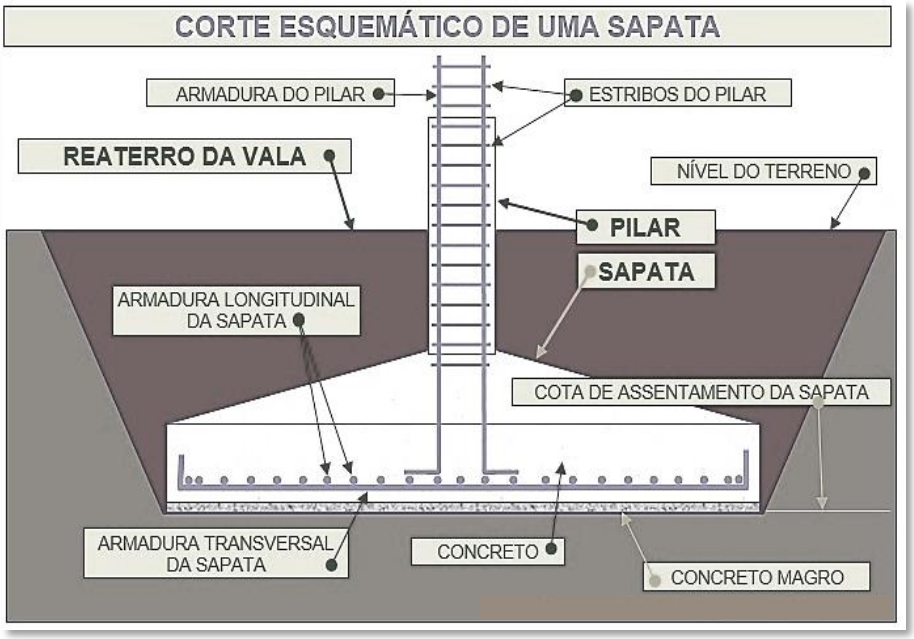


Figura 69: Corte esquemático de uma sapata. Fonte: (EBANATAW, 2023)[15 de janeiro 2023].

Figura 70: Ensaio de Tensão Limite realizado diretamente na superfície de assentamento da sapata com resultados imediatos para comparação com os ensaios preliminares de projeto. Detalhe dos pontos de ensaio. Fonte: Imagem internet domínio público.

Desta forma, para o Equipamento Piloto, incrementou-se o diâmetro de atuação do Pistão para 6,35 cm (2.1/2”), mesma medida do diâmetro nominal dos tubos de revestimento utilizados na sondagem SPT. A aplicação de maior contrapeso mais o peso próprio do equipamento podem gerar tensões de 12 Kgf/cm² - 1,18 MPa (Tabela 9). Em conjunto providenciou-se uma célula de carga com capacidade de resistir 500 Kgf (Figura 71).

Tabela 9: Cálculo Capacidade Máxima de Tensão para o Equipamento com Anilhas de Aço

PESO EQUIP. (Kg)	CONTRAPESO ANILHAS (Kg)	CARGA SOBRE SOLO (Kg)	DIÂMETRO PISTÃO (cm)	ÁREA PISTÃO (cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (Kgf/cm2)	TENSÃO MÁX. EQUIP. (MPa)
130,00	250	380,00	6,35	31,67	12,00	1,177

Fonte: Tabela do Autor.

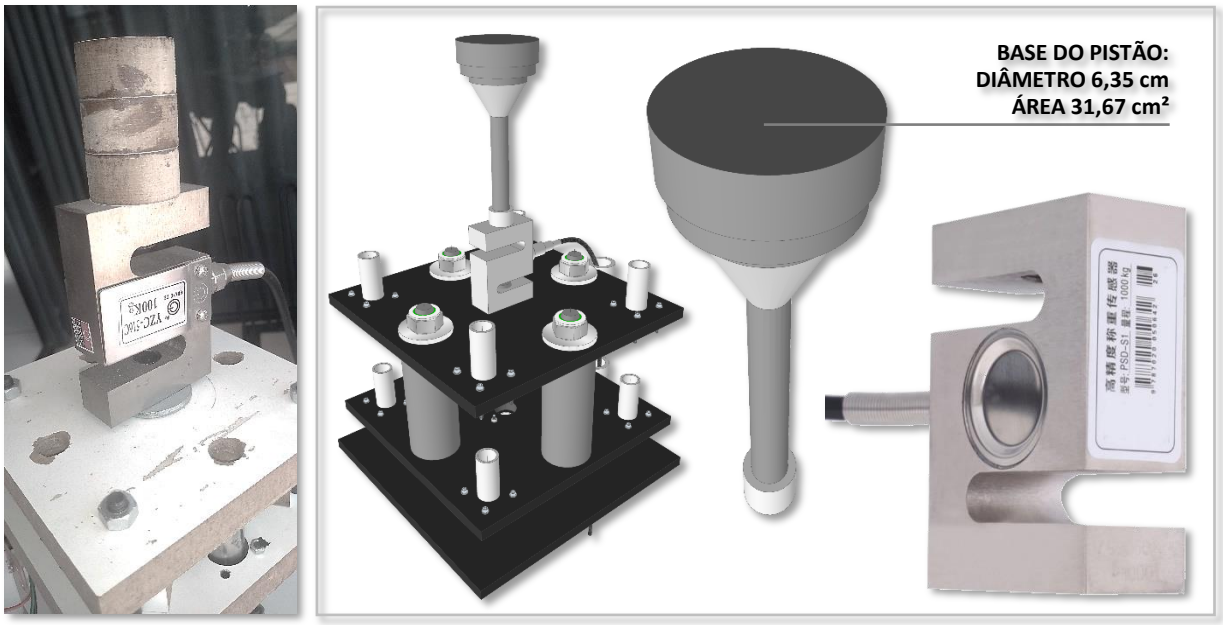


Figura 71: Da esquerda para a direita: 1 - conjunto célula de carga e pistão (diâmetro 3 cm) do protótipo; 2 - conjunto mesa móvel de aço, célula de carga e pistão metálico com incremento de área; 3 - detalhe pistão metálico a ser confeccionado; 4 - detalhe célula de carga com capacidade de 500 Kgf.
Fonte: Imagens e desenhos do Autor.

A adoção de maior carga de reação durante a realização do procedimento de ensaio, em consequência, gera maiores tensões do pistão sobre o solo fazendo com que fosse necessário o uso de um motor com torque mais elevado a fim de suportar os novos valores de pressão. Tendo como base uma carga total aproximada de 380 Kg para aplicação sobre o solo (peso próprio do equipamento, 130 Kg + contrapeso de anilhas, 250 Kg) e, para que o motor não viesse a ser sobrecarregado tendo que trabalhar no limite de sua capacidade, fez-se imprescindível instalar um componente que pudesse suportar pelo menos 500 Kgf, ou seja, trabalhar com um regime de segurança próximo de 2. Na Figura 72, pode ser conferido o STEPPER MOTOR 110HS168-6004A19-B55-LOT:2021.07 e o Driver de Passo com resfriamento induzido que exigiu duas aberturas na estrutura do equipamento para entrada e saída de ar.

Figura 72: Acima à esquerda, Motor de Passo resistência 500 Kgf; acima e à direita, Driver de Passo com cooler para resfriamento e abaixo, detalhe do conjunto de aplicação de força e controlador.
Fonte: Imagens do Autor.

Ligados à rede, o motor de passo trabalha com a tensão de 220 V e os demais componentes eletrônicos do aparelho são abastecidos por uma fonte de 12 V. Poderão ser realizados testes com a utilização de um inversor 220 V conectado à bateria do veículo que for utilizado para o transporte do equipamento bem como o uso de baterias de lítio como solução alternativa de fonte de energia (Figura 73). A bateria recarregável de formato circular poderá ser acoplada, externamente, sobre as anilhas facilitando o recarregamento e o transporte do equipamento além de incrementar o contrapeso necessário para a realização do procedimento de ensaio. Esta alternativa torna-se viável em situações de difícil acesso ou locais mais afastados com precariedade no fornecimento de energia elétrica. O formato da bateria externa de lítio pode ser conferido na imagem a seguir.

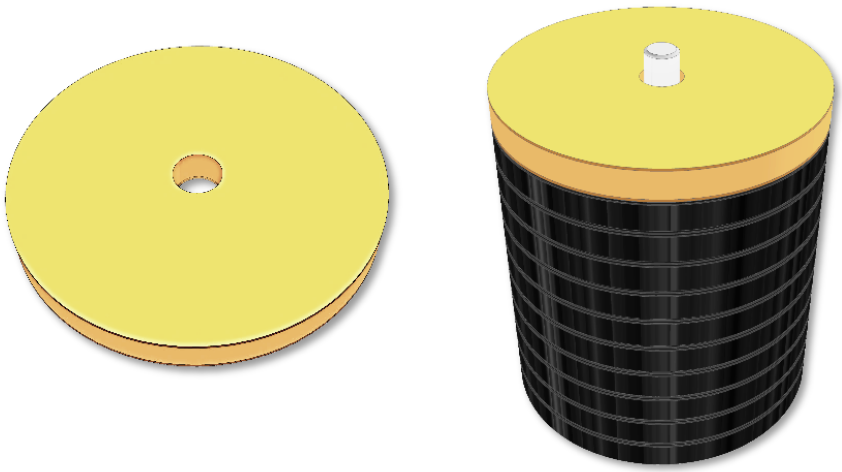


Figura 73: À esquerda, formato da célula de bateria externa de lítio e à direita, a bateria assentada sobre as anilhas de contrapeso. Fonte: Desenho do Autor.

Para que os componentes anteriormente citados pudessem desempenhar suas funções estritas se fez necessário uma estrutura que desse suporte e resistisse às solicitações de carga, movimentações e tensões (Figura 76). Por meio de um levantamento e de uma pesquisa *in loco* junto a empresas do ramo, foi possível identificar os tipos de aço e as espessuras disponíveis das chapas (Figura 74) para o desenvolvimento do projeto executivo da estrutura.

A nova vedação contou com uma caixa dobrada em aço carbono de espessura #3/16', o tampo, o miolo e a base, cortados à plasma, na chapa #3/8', as mesas fixas e as mesas móveis, em corte guilhotina, foram confeccionados em chapa de #3/8' e, ao final, estruturados em 02 Módulos[50] distintos. Cada um destes Módulos possui um conjunto de parafusos fixantes permitindo que sejam abertos individualmente facilitando o acesso aos componentes, caso haja a necessidade. Na Figura 75, é possível conferir as chapas de aço disponíveis bem como os processos de fabricação da estrutura do equipamento.

Figura 74: De cima para baixo: 1 - pesquisa, análise e avaliação para escolha das chapas de aço carbono; 2 - corte à plasma em execução pelo operador; 3 - corte finalizado. Fonte: Imagens do Autor.

[50] **O projeto** com o detalhe dos módulos desmontáveis e autônomos poderá ser conferido mais à frente.

Figura 75: De cima para baixo: 1 - inserção de chapa metálica na prensa; 2 - verificação do serviço de dobragem executado pelo operador; 3 - amostra de chapa de aço carbono 3/8 de polegada a ser utilizada no Equipamento Piloto Tensão Limite. Fonte: Imagens do Autor.

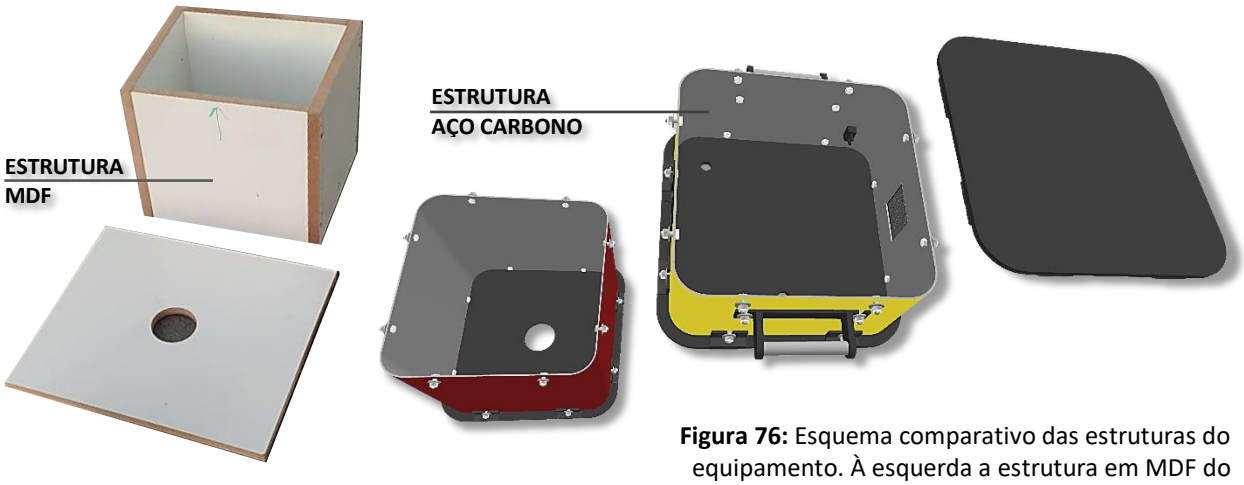


Figura 76: Esquema comparativo das estruturas do equipamento. À esquerda a estrutura em MDF do protótipo e à direita o conjunto da estrutura de aço carbono para o modelo final do equipamento *Tensão Limite* constituído de 2 módulos. Fonte: Imagem e desenho do Autor.

Cabe lembrar que durante a realização dos procedimentos de ensaio, algumas vibrações ocorreram no equipamento. Isto se deu em função de pequenas imperfeições do solo que não permitiram o completo assentamento da base do equipamento sobre a superfície em nível. Além do incremento de contrapeso sobre o aparato, surgiu a possibilidade de instalação de uma placa flexível de Neoprene (Figura 77) sobre a base do que equipamento e, assim, promover um assentamento integral na base, além de absorver quaisquer vibrações que por ventura pudessem ocorrer.

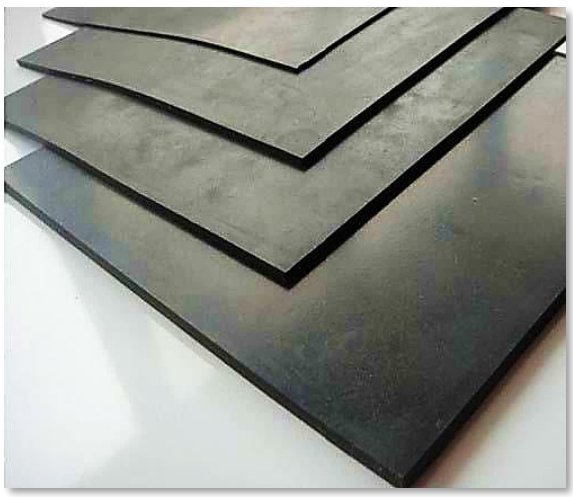
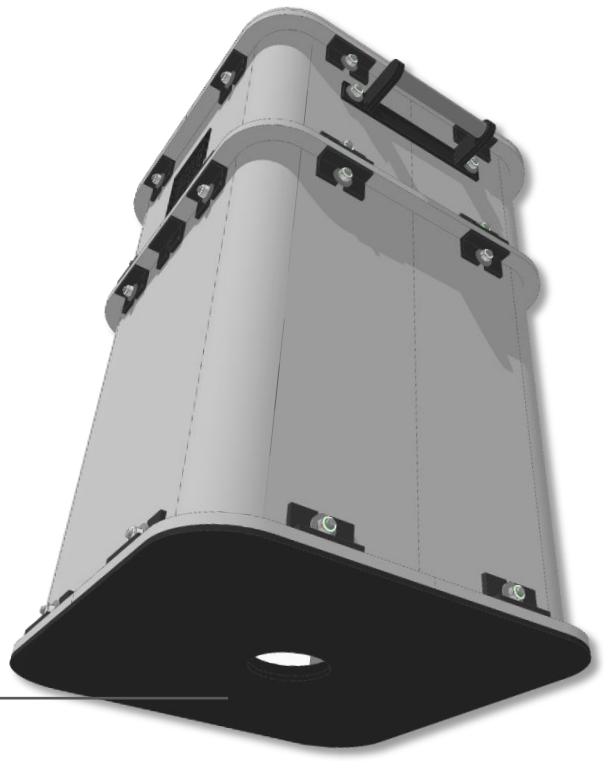


Figura 77: À esquerda, placas de Neoprene e à direita a placa ajustada ao formato da base do equipamento Tensão Limite. Fonte: Imagem e desenho do Autor.



É possível a troca do pistão original utilizado no procedimento de *Tensão Limite* por outro elemento rígido tipo barra/ponteira que poderá vir a ser utilizada a depender da tipologia de verificação de solo desejada (Figura 78). A exemplo do Penetrômetro, a barra ao ser pressionada sobre o solo verifica a resistência à penetração simples por meio do atrito lateral ou pela resistência de ponta. Pesquisas com subsídios em publicações no sentido de verificar as possíveis tipologias de teste decorrentes dos formatos das ponteiras poderão ser realizadas a fim de se determinar os procedimentos e os formatos ideais destas barras. A seguir, pode ser conferido um estudo destes elementos aplicados ao Equipamento Piloto.

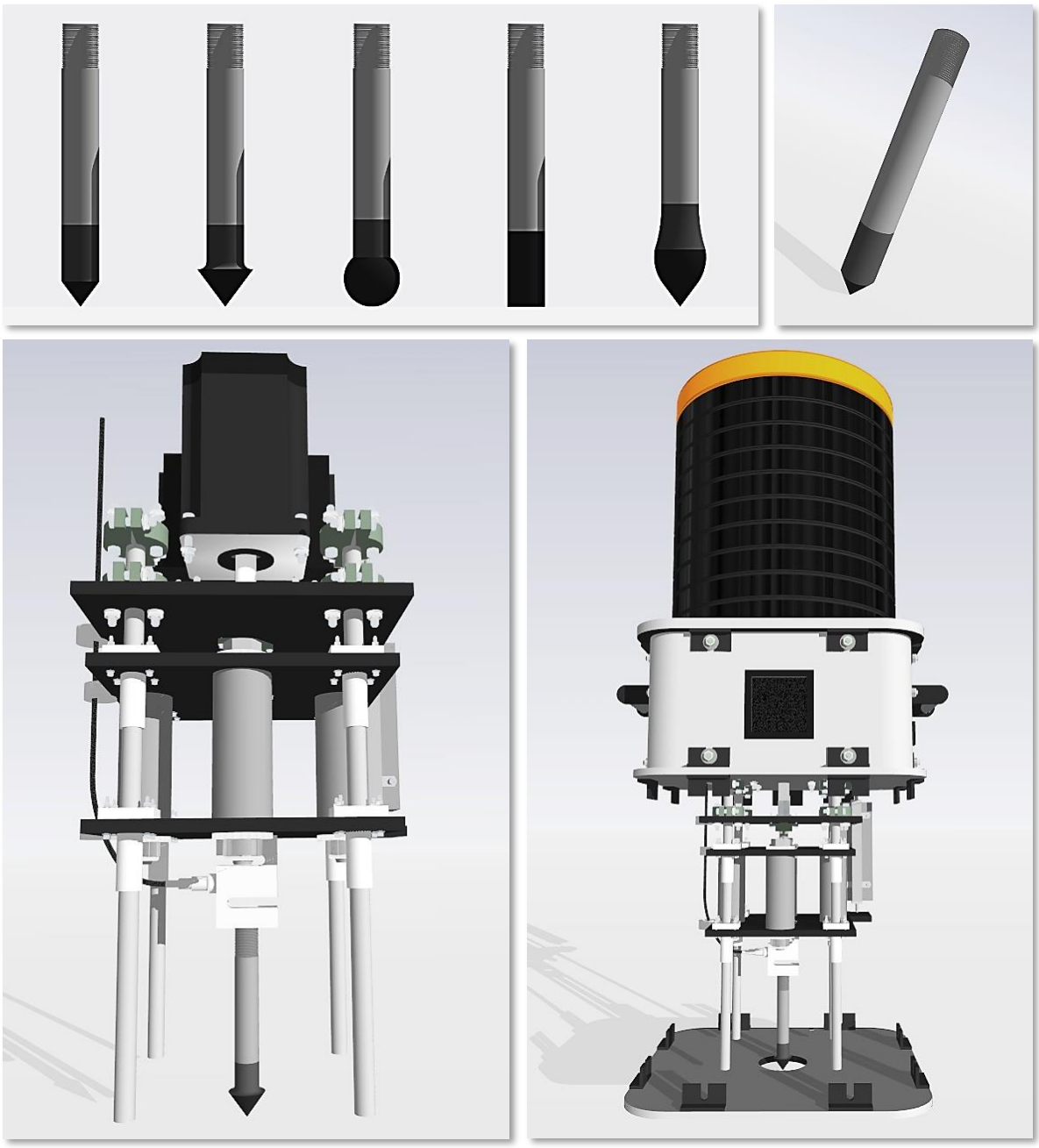


Figura 78: Acima, jogo de ponteiras e perspectiva; abaixo detalhe da ponteira fixada na célula de carga sobre mesa móvel e equipamento em carga pronto para uso. Fonte: Desenho do Autor.

A rotina de cálculo realizada por meio do aplicativo Microsoft Excel supriu satisfatoriamente as exigências de seleção e tratamento dos dados, contudo, pode ser qualificada por meio da elaboração de um aplicativo direcionado ao procedimento de ensaio (Figura 79). Em outras palavras, pretende-se no futuro, em conjunto com um programador de informática, desenvolver um software voltado exclusivamente à rotina do procedimento que poderá, automaticamente, anotar os dados e permitir um controle total de diversas funções, tais como o acionamento e desligamento do aparelho, visualização do gráfico com a curva *tensão x deslocamento*, anotação em separado das tensões e dos deslocamentos além de, ao término da verificação, gerar um relatório final completo. O programa poderá ser instalado e utilizado em qualquer plataforma digital como Notebooks, Desktops, Tablets, Celulares, dentre outros, coroando sua utilização com a geração de laudo e registro técnico, exportação digital dos resultados obtidos para outras plataformas de dados bem como a interação, em tempo, com diversas equipes e frentes de trabalho.

Figura 79: Detalhe e exemplo de Tablet com aplicativo especifico instalado para controle do equipamento, visualização de dados, gráficos e relatório automático para repasse digital das informações.
Fonte: Imagem internet domínio público; tratamento e inserção de imagem, Autor.

Concomitantemente à realização dos primeiros testes com o Protótipo, foram sendo desenvolvidos estudos de um modelo digital para a construção do Equipamento Piloto. O equipamento idealizado foi confeccionado com uma estrutura mais resistente e compacta a fim de suportar maiores contrapesos. Os desenhos foram sendo direcionados no sentido de melhores e mais fáceis acoplamentos dos dois conjuntos principais e dos componentes que os integram (Figura 80).

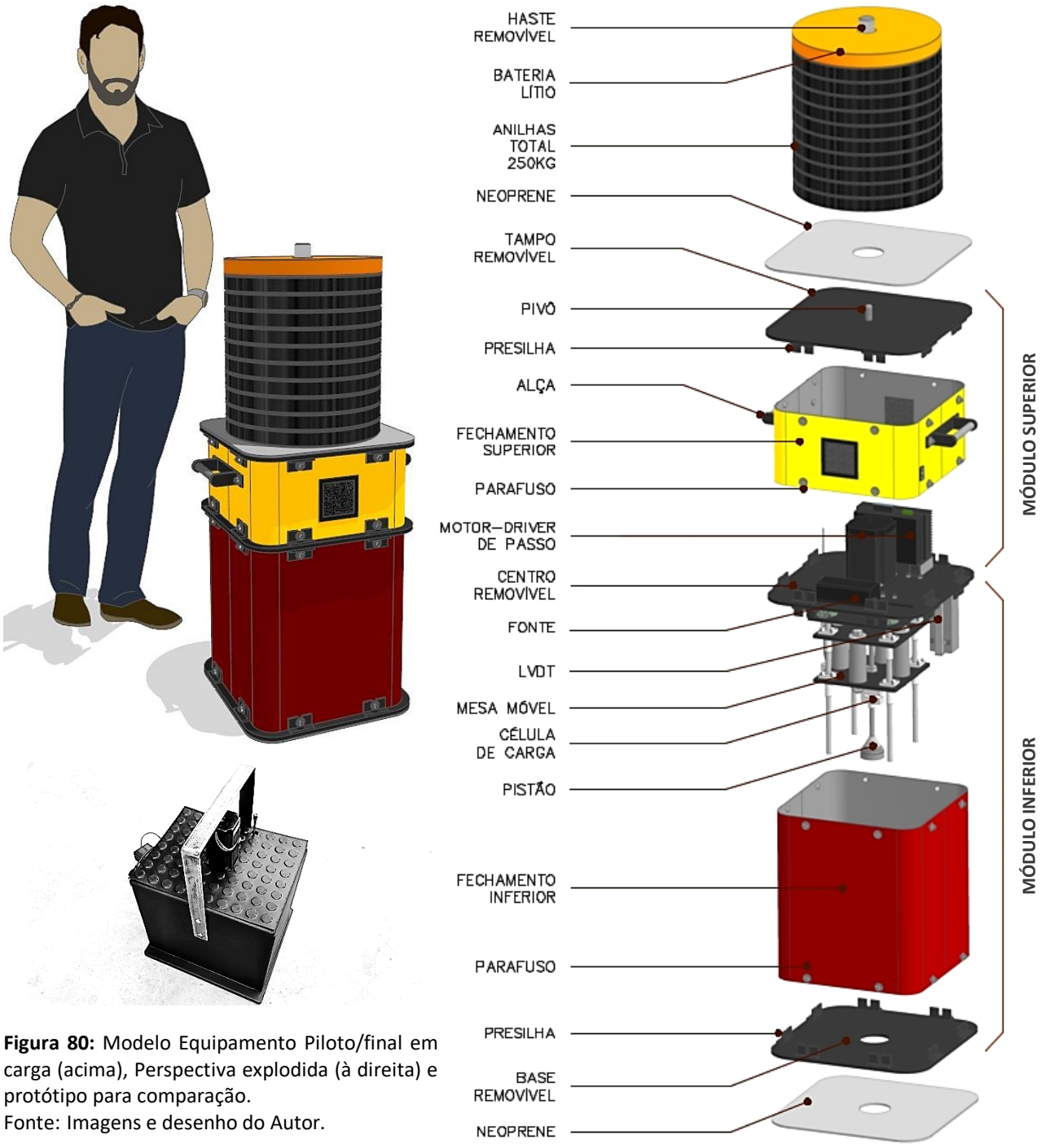


Figura 80: Modelo Equipamento Piloto/final em carga (acima), Perspectiva explodida (à direita) e protótipo para comparação.
Fonte: Imagens e desenho do Autor.

O Equipamento Piloto seguiu, em grande medida, a mesma configuração do protótipo (Figuras de 81 a 101). **As melhorias foram desenvolvidas em três níveis de atuação que podem ser conferidos a seguir:**

a) Estrutural
   a) 01 Conjunto de dimensões: 44 cm x 70 cm x 44 cm (L x A x P) peso próprio 130 Kg; dimensões em carga: 44 cm x 110 cm x 44 cm (L x A x P), carga total 380 Kg;
   b) 01 Módulo/vedação superior, volume para componentes eletrônicos, Aço SAE, espessura 3/16" – fechamento, desmontagem, resistência e suporte;
   c) 01 Módulo/vedação inferior para componentes mecânicos, Aço SAE, espessura 3/16" – fechamento, desmontagem, resistência e suporte;
   d) 01 Tampo, 01 miolo e 01 base em Aço SAE, espessura 1/8" – acoplamento e resistência às cargas e reações verticais;
   e) 32 Parafusos de fixação – ligação rígida/engaste dos módulos;
   f) 10 Anilhas de aço 25 Kg cada, total 250 Kg – contrapeso e estabilidade;
   g) 01 Haste/guia anilhas – estabilidade do conjunto;
   h) 02 Alças tubulares removíveis – movimentação e transporte;
   i) 01 Placa de Neoprene 5 mm – assentamento e absorção de vibrações;
   j) Soldagem do tipo MIG e pintura/acabamento fundo antioxidação, pintura acrílica e película nitrocelulose.

b) Mecânico
   a) 01 Fuso Metálico, passo 5 mm Precisão C7, 30 cm de comprimento e 15 mm de diâmetro, aço carbono de alta qualidade exclusivo para engenharia de estrutura mecânica, liga carbono 20CrMo - SAE4120 (USA) - DIN EN 10083-3 (Alemanha) - SCM420 (Japão) e ISO 683-1;
   b) 01 Camisa de ligação *motor x fuso* em Aço SAE usinado;
   c) 01 Rolamento de encosto inferior 15 mm;
   d) 01 Rolamento de encosto superior e camisa 15 mm em Aço SAE usinado – anular força de reação longitudinal ao eixo do motor e rolamentos internos;
   e) 01 Castanha 15 mm em aço carbono de alta qualidade exclusivo para engenharia de estrutura mecânica;
   f) 01 Pistão de aço carbono em Aço SAE usinado - 6,35 cm de diâmetro;
   g) 04 Barras cilíndricas, diâmetro 20 mm, Aço SAE usinado do tipo trefilado – ligação, sustentação e movimentação linear da mesa móvel;
   h) 16 Abraçadeiras de 20 mm em alumínio industrial – fixação barras trefiladas e transição de esforços para a carcaça;
   i) 01 Mesa fixa com 01 placa de aço carbono espessura 1/4";
   j) 01 Mesa móvel com 02 placas em Aço SAE espessura 1/4" unidas por 02 tubos em Aço SAE diâmetro 35 mm;

k) Observação: todos os sistemas de engate *porca x parafuso* foram acoplados com adesivo trava rosca - médio torque a fim de resguardar as fixações.

c) Eletrônico
   a) 01 Motor de passos, STEPPER MOTOR 110HS168-6004A19-B55-LOT:2021.07, capacidade 500 Kgf, alimentação 220 V – maior capacidade e coeficiente de segurança próximo de 2;
   b) 01 Driver de Passo, alimentação independente 9 V;
   c) 01 Conversor digital/analógico motor;
   d) 02 Fontes externas 9 V;
   e) 01 Controlador Raspberry;
   f) 01 Circuito Bluetooth;
   g) 01 Célula de carga capacidade 500 Kg – maior capacidade e coeficiente de segurança próximo de 2;
   h) 01 Conversor digital/analógico célula;
   i) 01 Leitor linear de deslocamento 100 mm – maior capacidade e coeficiente de segurança próximo de 2;
   j) 01 Conversor digital/analógico LVDT;
   k) 02 Mini switch On/Off – segurança, interrupção em final de curso;
   l) 01 Cooler de exaustão 12 V – resfriamento componentes eletrônicos;
   m) 01 Cabo de Ligação com interruptor – desligamento em caso de sinistro.

Figura 81: Equipamento Piloto finalizado e pronto para a execução dos ensaios. Detalhe da visita de inspeção com fechamento em chapa de acrílico. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 82: Seleção e aquisição dos insumos metálicos. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 83: Corte à plasma dos tampos e mesas. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 84: Usinagem das peças - torneadora. Fonte: Imagem do Autor.

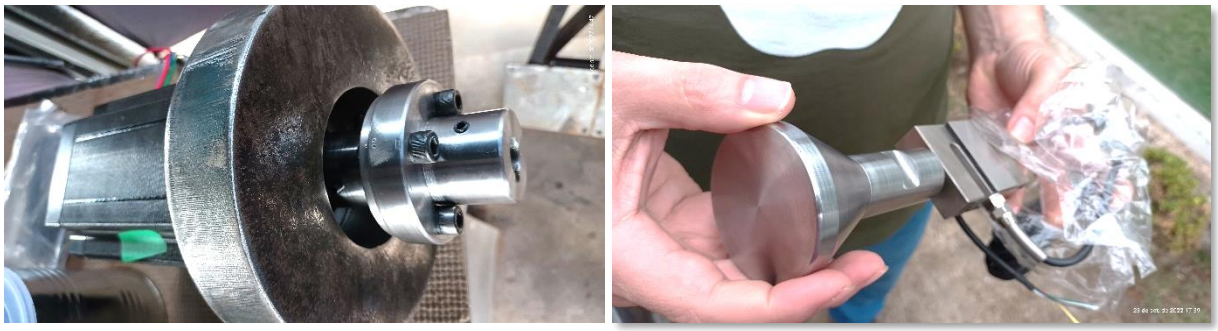


Figura 85: Camisas de ligação *motor x fuso*, pistão e célula de carga. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 86: Rolamento de encosto, fuso e mesa de apoio. Fonte: Imagem do Autor.

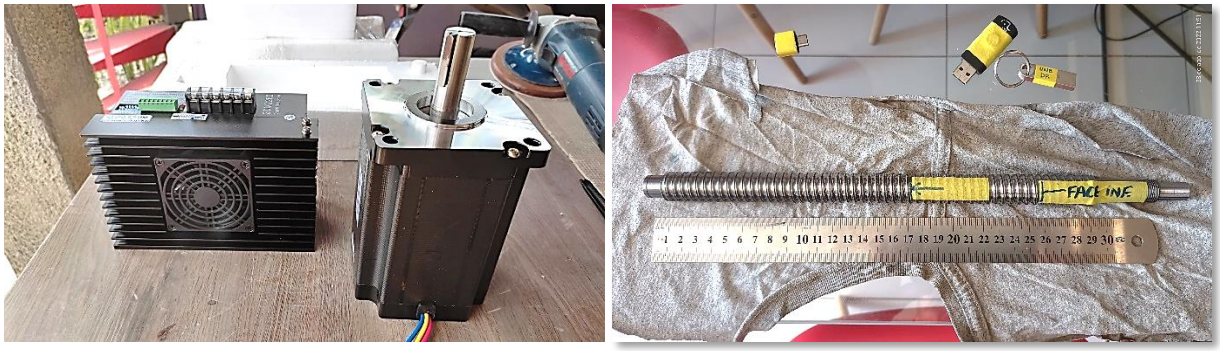


Figura 87: Motor de passo, driver controlador e fuso. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 88: LVDT e castanha do fuso. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 89: Carcaça e mesas com pintura antioxidante; furação das mesas. Fonte: Imagem do Autor.

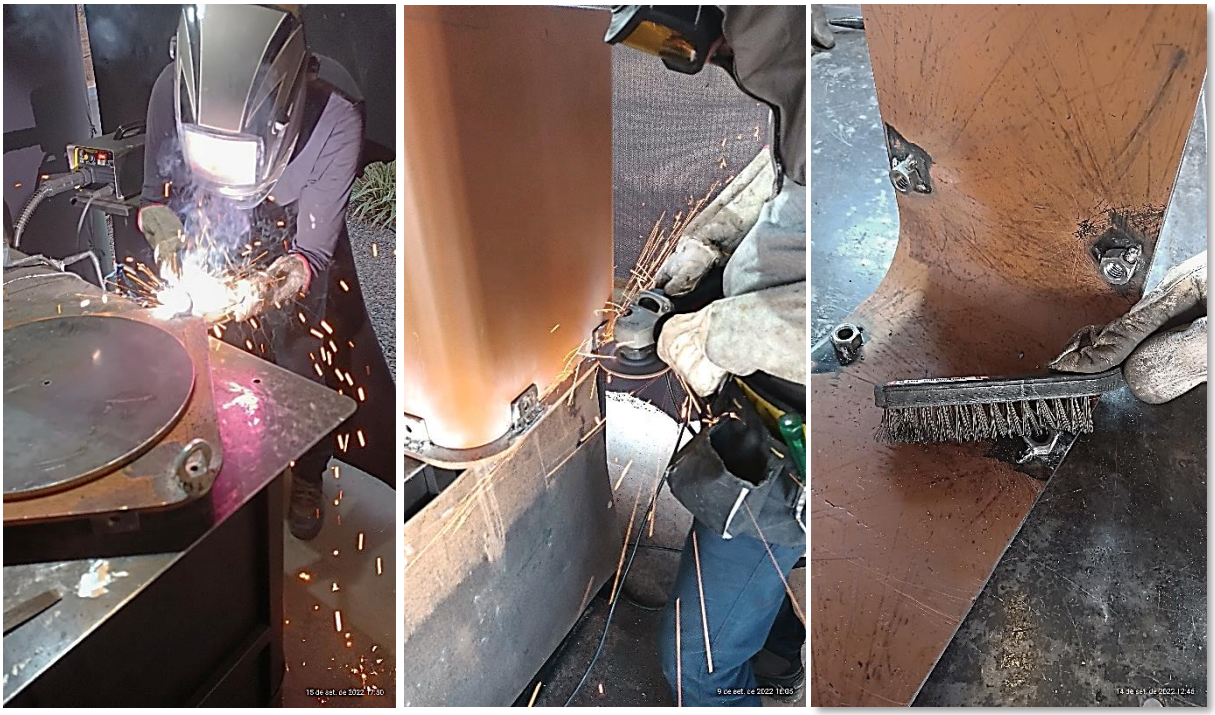


Figura 90: Soldagem MIG, desbaste, lixamento e limpeza da escória. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 91: Furação das mesas, separação e organização das peças mecânicas. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 92: Início e término da montagem da mesa fixa e móvel. Fonte: Imagem do Autor.

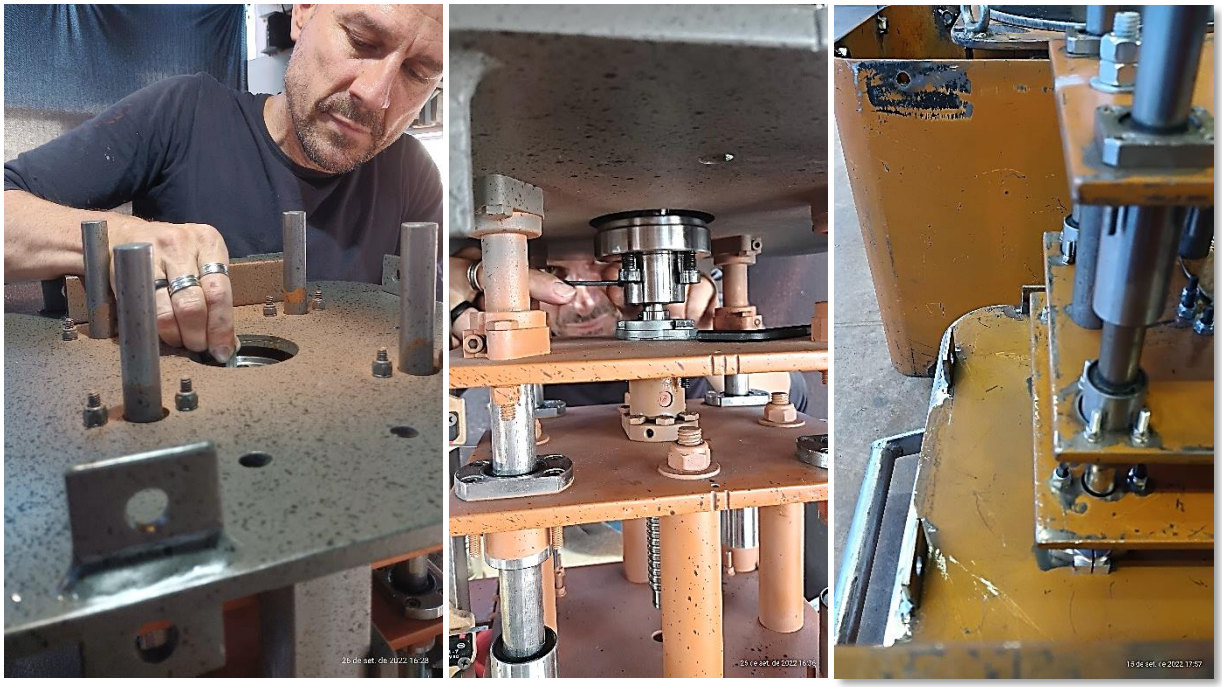


Figura 93: Fixação/ligação das camisas do sistema *motor x fuso* e conjunto montado. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 94: Montagem finalizada, equipamento pronto para pintura de acabamento. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 95: Pintura e peças acabadas. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 96: Equipamento finalizado e pronto para as instalações eletrônicas. Fabricação exclusivamente realizada pelo Autor/Pesquisador (à direita). Fonte: Imagem do Autor.

Figura 97: Mapa dos componentes e das ligações eletrônicas; início das conexões. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 98: Ligações eletrônicas e conferência dos componentes. Estruturação e ligações eletrônicas exclusivamente realizadas pelo Autor/Pesquisador no Laboratório de Visualização, Interação e Simulação – LVIS, UnB, sob supervisão do Coorientador da Tese. Fonte: Imagem do Autor.

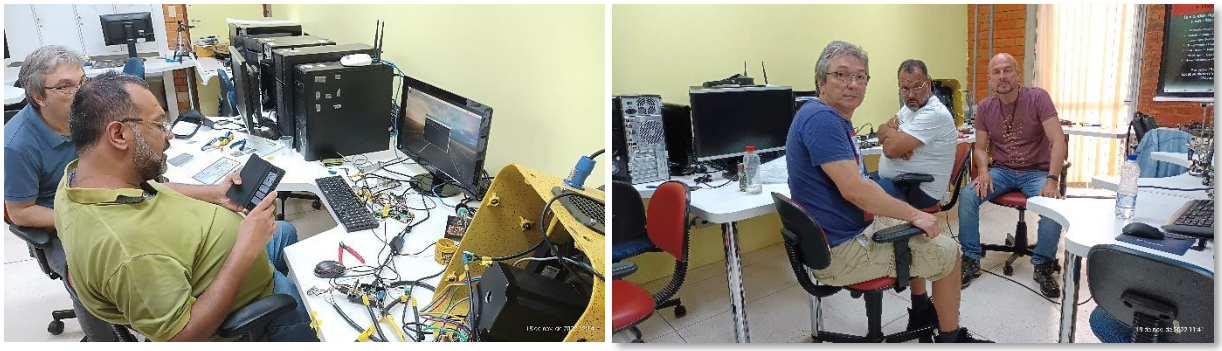


Figura 99: Testagem e configuração dos componentes eletrônicos. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 100: Testagem e configuração dos componentes eletrônicos. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 101: Teste piloto realizado pelo Autor; FT, UnB. Fonte: Imagem do Autor.

Características do Ensaio:

Aplicável como procedimento complementar *in situ* para verificação de resistência da base de solo de fundações, o ensaio vem corroborar as verificações realizadas pelos ensaios preliminares podendo ser utilizado como instrumento de comparação e confirmação de projeto e posterior liberação das fundações para a concretagem. Possibilita a verificação direta, em campo, de variados tipos de solos constituintes de fundações rasas, tubulões, bases compactadas com partículas menores que 06 mm, dentre outros. O ensaio Tensão Limite consiste na penetração estática - lenta de um pistão metálico de 6,35 cm de diâmetro (2' 1/2), área de 31,67 cm², por meio de 01 fuso metálico C7, Passo 5 mm, sobre a base de assentamento da fundação onde são medidos os deslocamentos e as cargas/tensões aplicadas para aferição de sua capacidade de suporte com um Motor de Passo capaz de aplicar 500 Kgf. O curso máximo do pistão é de 65mm sendo necessário 26.000 passos para o deslocamento completo/curso máximo. Proporcionalmente, 40 passos deslocam o pistão em 1 mm (72°) durante, aproximadamente, 60 segundos; 200 passos do motor deslocam o pistão em 5 mm, o equivalente a uma volta completa do fuso (360°) em 300 segundos.

Especificações:

a) Peso Total Equipamento: 3,727 kN (380 Kg);

b) Tensão máxima: 1,177 MPa (12 Kgf/cm²);

c) Diâmetro do pistão: 6,35 cm = 2.1/2”;

d) Área do pistão: 31,67 cm²;
e) Fuso: passo 5 mm;
f) Motor: 200 passos para 01 volta completa, 360°;
g) Deslocamento máximo do pistão: 65 mm = 2.600 passos;
h) Deslocamento 1 mm: 40 passos (1/5 de volta completa, 72°);
i) Deslocamento 5 mm: 200 passos (01 volta completa, 360°);
j) Deslocamento 10 mm: 400 passos (02 voltas completas, 720°);
k) Aplicativo Celular: Serial Bluetooth;
l) Tempo aproximado do ensaio: 15 a 30 minutos.

Procedimentos de Ensaio:

a) Verificação visual – caracterização do solo;
b) Verificação tátil das condições de umidade do solo;
c) Limpeza preliminar da fundação;
d) Verificação dos pontos de interesse na fundação para realização do ensaio;
e) Definição da quantidade dos pontos de ensaio;
f) Nivelamento / planificação mecânica da superfície do solo por meio manual e/ou mecânico;
g) Limpeza final dos pontos de ensaio e da fundação;
h) Acomodação do equipamento;
i) Verificação do prumo do equipamento no solo com régua de nível e nível de superfície;
j) Assentamento do contrapeso sobre equipamento;
k) Testagem preliminar do equipamento com carregamento e descarregamento em duas etapas;
l) Conexão com os leitores de carga e deslocamento - aplicativo via Bluetooth;
m) Inicialização do ensaio - acompanhamento das aferições de carga e deslocamento;
n) Finalização do ensaio quando atingida a tensão limite do equipamento ou rompimento do solo em análise;
o) Registro dos dados para elaboração dos resultados/gráficos/curvas.

7.4. Ensaios Finais

> No momento atual do contínuo desenvolvimento da Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, observa-se uma **melhora notável na diversidade e qualidade de ensaios de campo** disponíveis para caracterização do subsolo e medição de propriedades de comportamento [...] [Entretanto] **a interpretação dos resultados é complexa** e imprecisa, devido tanto ao comportamento do solo como às condições de contorno do ensaio realizado. Peter Wroth (1984). (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012, p. 67) [grifo nosso].

Três fundações de 02 conjuntos comerciais em Águas Claras, **Manhattan Shopping** (ESTUDO 01) e o **Conjunto de Uso Misto – Comercial e Habitação Coletiva** (ESTUDO 02), serão objetos de estudo e análise por meio do Equipamento Piloto, conferidos a seguir.

ESTUDO 01: Manhattan Shopping - Águas Claras, DF

Dados do Empreendimento: Manhattan Shopping - Conjunto Comercial Águas Claras.

Construtora: Paulo Octavio Investimentos Imobiliários Ltda.

Localização: Águas Claras, Rua 16 Sul e Rua 17 Sul, com acesso pelas avenidas Araucárias e Boulevard - Brasília - DF, 71940-180 (Figura 103).

Características do Conjunto: Morar, trabalhar e se divertir no mesmo lugar. Com o conceito de uso misto, conta com apartamentos, salas comerciais e lojas. Duas torres residenciais com área de lazer completa composta por cobertura, piscina com borda infinita, deck molhado, SPA, sauna, salão de festa, espaço gourmet, churrasqueiras, espaço pet, lavanderia, ferramentaria, espaço colaborativo e espaço fitness. Uma torre comercial com espaço fitness e espaço colaborativo exclusivos e um Mall (Figura 102).

Figura 102: Modelo digital do conjunto edificado. (PAULOOTAVIO, 2023) [acesso em 14 janeiro 2023].

Figura 103: Situação do lote em Águas Claras, detalhe da Junta “A” do projeto de fundações, parcela/local dos ensaios. Fonte: Google Maps.

Características da fundação em análise: Localizadas na Junta “A” do Projeto de Fundações. Sapata n° 321 de dimensões 3,30 metros x 2,95 metros, altura 1,10 metros, cota de assentamento -12,17 m e Sapata 316 de dimensões 3,65 metros x 2,65 metros e altura 1,05 metros, cota de assentamento -12,17 m (Figura 104).

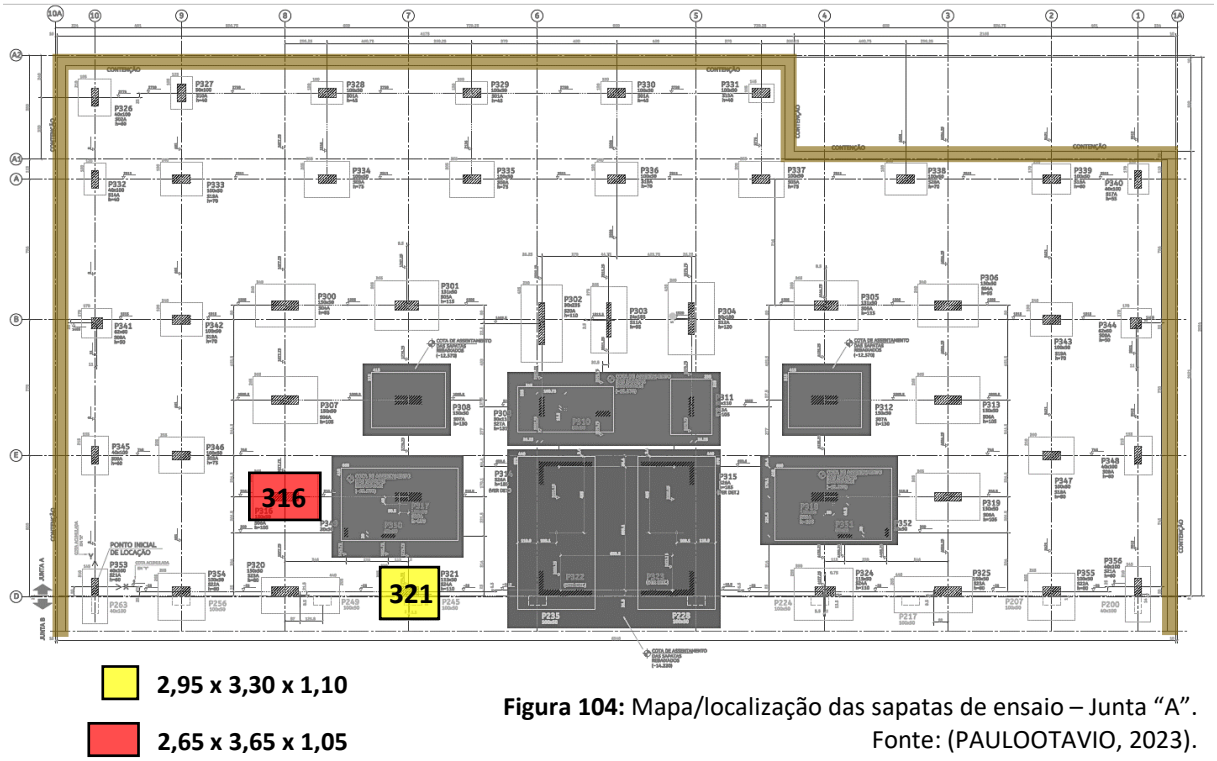


Figura 104: Mapa/localização das sapatas de ensaio – Junta “A”. Fonte: (PAULOOTAVIO, 2023).

O período mais chuvoso do ano no Distrito Federal ocorre durante os meses de novembro a abril. Os dois ensaios foram realizados no mês de janeiro com constantes chuvas sendo necessário planejamento em função das condições climáticas. Em decorrência disto, foi necessário verificar as janelas do clima, via previsão do tempo, a fim de viabilizar a logística do equipamento até a fundação.

A construtora iniciava as escavações na parte da manhã com a devida liberação do local na parte da tarde (Figura 105). Os ensaios foram realizados no intervalo de 4 semanas. Todos os procedimentos foram rigorosamente seguidos e realizados com apoio e suporte dos trabalhadores e a supervisão de um engenheiro de obra. Devido às chuvas intensas, o tempo disponível para a realização dos ensaios dentro da sapata era exíguo uma vez que sempre havia a possibilidade de precipitações, além da percolação de água pelas paredes/faces internas da sapata (Figura 106). Em função disso, os ensaios eram sempre iniciados de forma segura com o solo não saturado e a base de assentamento em boas condições de trabalho.

Figura 105: Rampa de acesso canteiro de obra e local dos ensaios. - Junta "A". Fonte: Imagem do Autor.

O planejamento inicial era o de realizar 5 ou 6 ensaios em cada sapata. Ocorreu que após o término do 4° ensaio a percolação de água dentro da fundação impedia a realização de outros procedimentos. A concretização dos demais ensaios era realizada no dia subsequente; a construtora efetuava a drenagem da água acumulada bem como a retirada das camadas moles da base para aplicação do lastro.

Figura 106: Sapatas alagadas devido ao período das chuvas / local dos ensaios. Fonte: Imagem do Autor.

Sapata 321 – Ensaios

As Figuras de 107 a 109 demonstram a logística do equipamento até a fundação bem como a realização de todos os procedimentos de ensaio antes da inicialização das verificações na base de assentamento da Sapata 321.

Figura 107: Início dos procedimentos de ensaio: verificações preliminares; limpeza preliminar, pontos de interesse e quantidade. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 108: Logística até a fundação, planificação do solo realizada pelo Autor e bases prontas para assentamento do equipamento.

Figura 109: Checagem do prumo, testagem preliminar, assentamento do contrapeso e ensaios realizados pelo Autor (última imagem) em conjunto com a equipe de obra. Fonte: Imagem do Autor.

A seguir é possível conferir os resultados dos quatro ensaios realizados na **Sapata 321** para comparação bem como um mapeamento de capacidade de suporte de carga nos quatro pontos dentro da fundação (Figura 110).

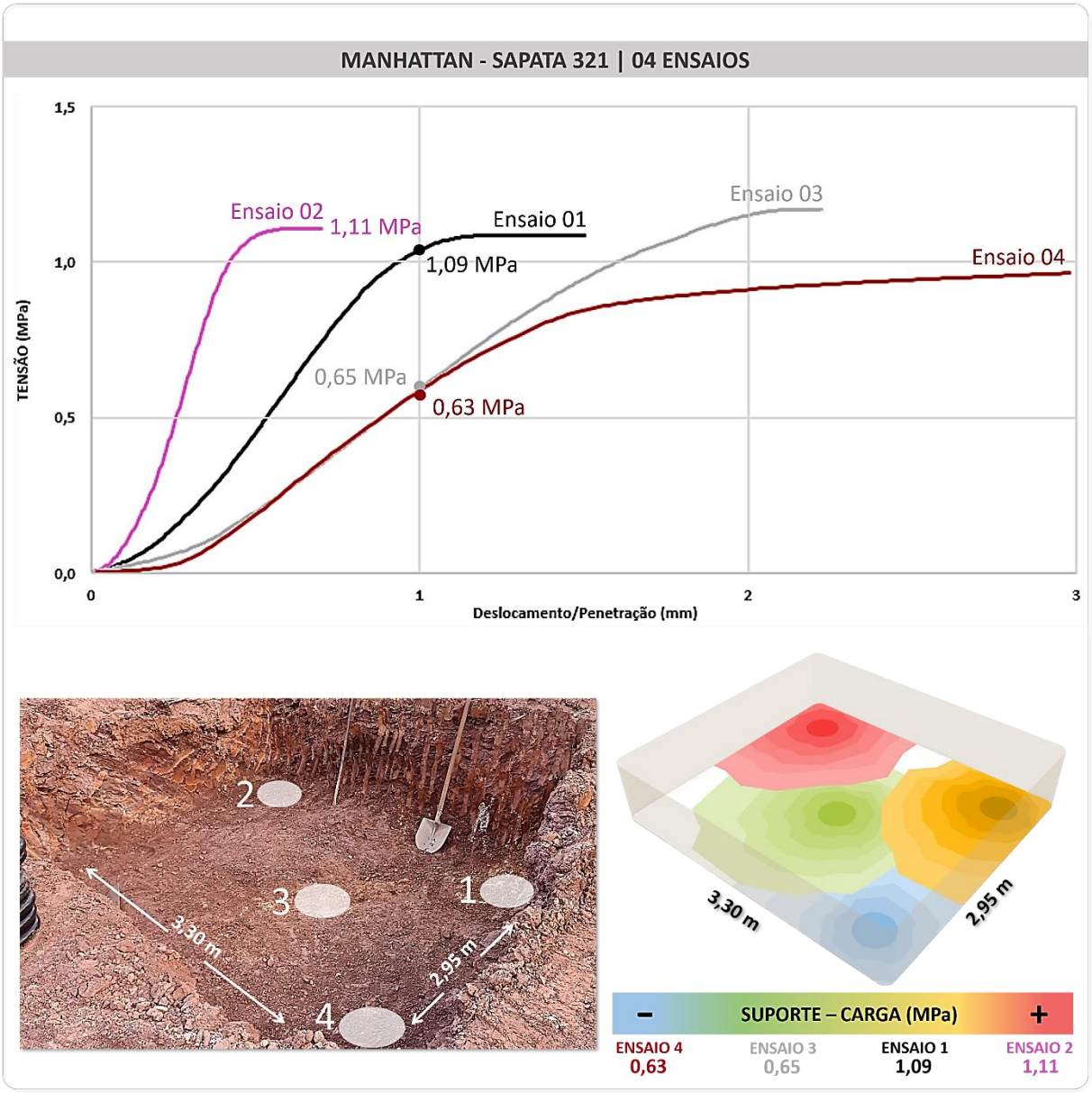


Figura 110: Infográfico Sapata 321: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas/tensões na base da sapata. Dimensões da sapata: 3,30 x 2,95 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos.
Fonte: Imagem e gráfico do Autor.

Tomando-se como referência o deslocamento de 1 mm, próximo dos *picos de resistência*, foi possível verificar que a região de solo no Ponto 2 apresentou maiores capacidades de suporte de carga, seguidos pelos Pontos 1, 3 e 4, respectivamente (Figura 111). Durante o segundo ensaio, verificou-se que a região de solo se encontrava extremamente dura fazendo com que a carga máxima de reação do equipamento fosse rapidamente atingida e o ensaio ocorrido em poucos minutos. **De maneira inédita, foi possível analisar as**

diferenças de capacidade de carga diretamente no elemento de fundação. Estes dados poderão auxiliar o engenheiro de infraestrutura no sentido de uma avaliação mais precisa do comportamento da base de assentamento, permitindo, se necessário, ajustes no projeto antes da liberação para a concretagem. Poder-se-ia adotar a média das tensões obtidas como fator de segurança para melhor definição da tensão admissível e dimensionamento da sapata. Ganhos poderão ser obtidos com a economia de tempo e energia, velocidade de resposta, racionalização do uso de matéria prima e menores retrabalhos na obra.

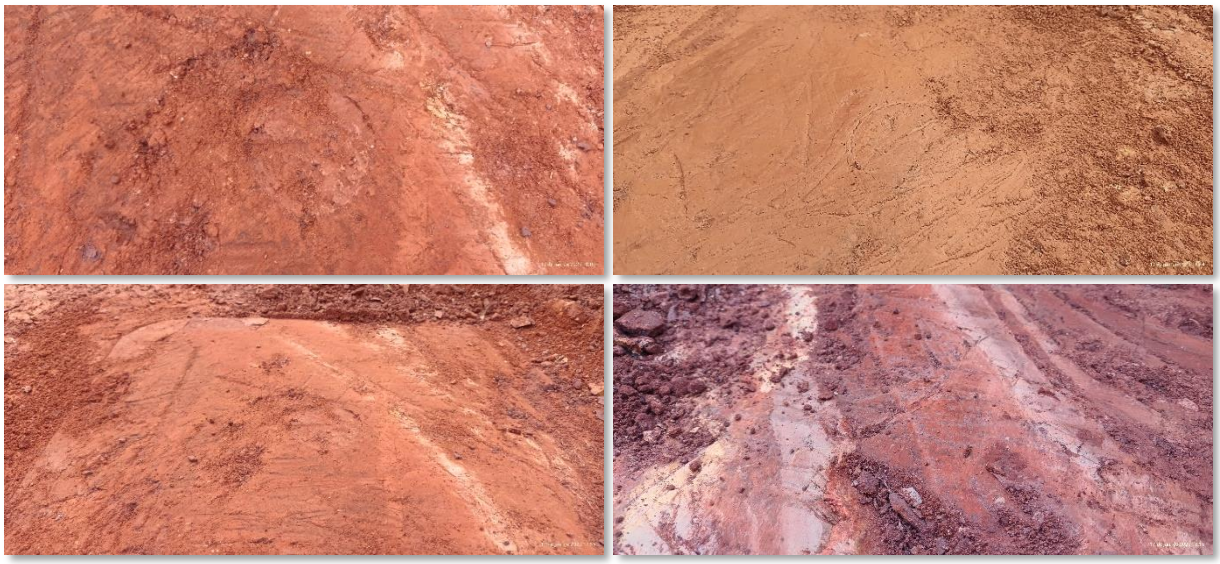


Figura 111: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 321. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura). Fonte: Imagens do Autor.

Sapata 316 – Ensaios

As Figuras de 112 a 114 demonstram a logística com a retroescavadeira até a fundação e a realização dos procedimentos antes da inicialização dos ensaios Tensão Limite.

Figura 112: Limpeza geral e preparação da base para planificação, checagem de nível para acomodação do equipamento de ensaio. Fonte: Imagens do Autor.

Figura 113: Logística, limpeza da fundação, planificação, nivelamento e checagem de nível realizados pelo Autor. Fonte: Imagens do Autor

Figura 114: Equipe de obra e Autor (ao centro) após armazenagem do equipamento. Fonte: Imagens do Autor.

A seguir é possível conferir os resultados dos quatro ensaios realizados na **Sapata 316** para comparação bem como um mapeamento de capacidade de suporte de carga nos quatro pontos dentro da fundação (Figura 115).

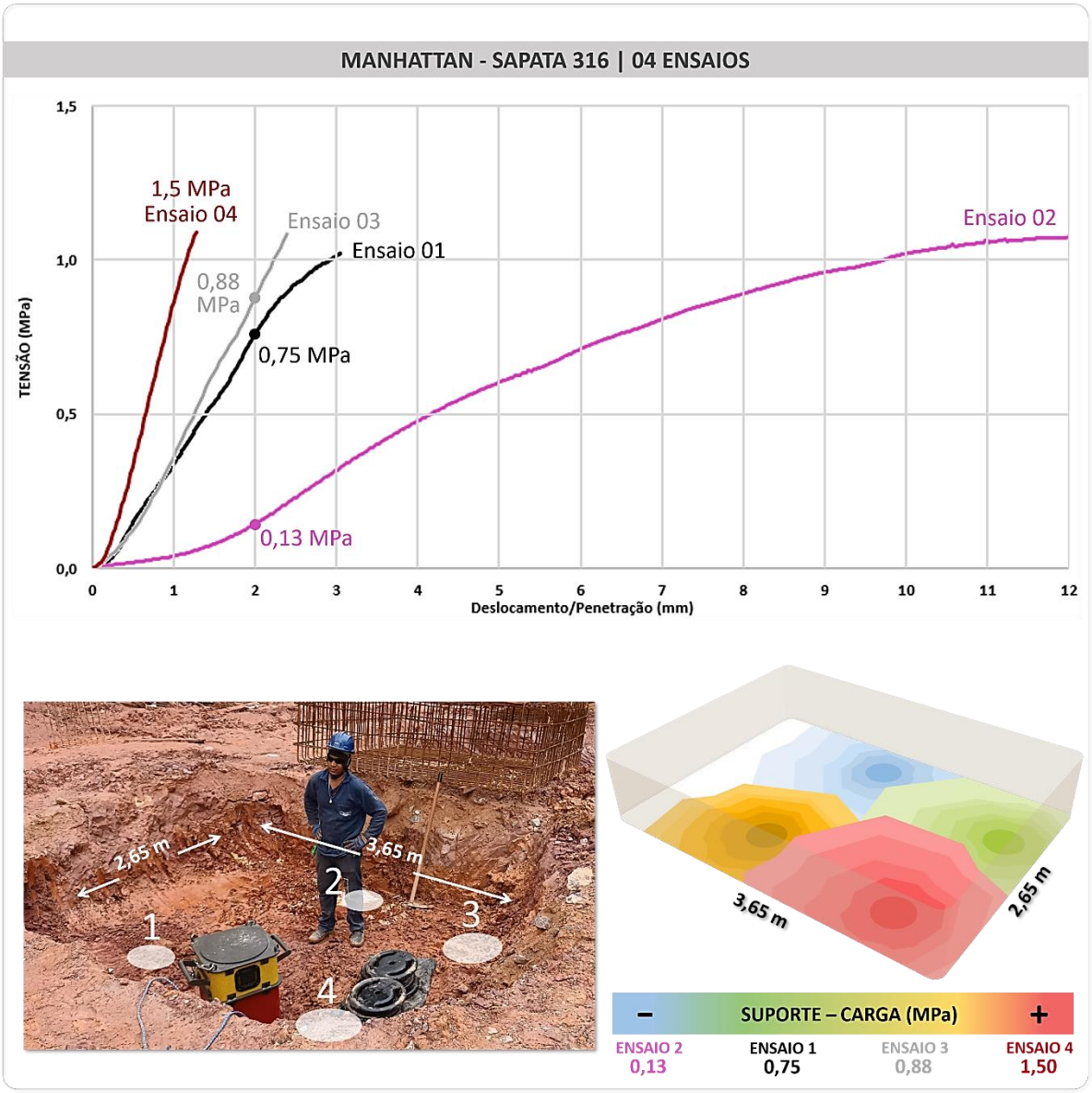


Figura 115: Infográfico Sapata 316: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas/tensões na base da sapata. Dimensões da sapata: 3,65 x 2,65 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos.
Fonte: Imagem e gráfico do Autor.

Tomando-se como referência o deslocamento de 2 mm, próximo dos picos de resistência, foi possível verificar que a região de solo no Ponto 4 apresentou maiores capacidades de suporte de carga, seguidos pelos Pontos 3, 1 e 2, respectivamente. Em destaque, durante o procedimento de planificação, verificou-se que a região de solo no Ponto 4 encontrava-se extremamente dura acelerando o registro dos dados com os resultados indicando grande capacidade de suporte com tendência a ultrapassar 1,5 MPa. Em contrapartida no Ponto 2, foi possível verificar que o solo apresentava um veio mole de coloração esbranquiçada (solo hidromórfico - Figura 116). O engenheiro responsável relatou que, a pedido do projetista das fundações, vários ensaios com o Penetrômetro - DCP foram realizados na base para verificação preliminar; quando encontrava veios do tipo, a quantidade

de golpes necessários para a penetração do cone/barra era sempre menor, em consequência, as capacidades de suporte do solo eram inferiores. Além deste fato, destacou que a percolação da água dentro da sapata se dava através destes veios característicos.

Figura 116: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 316. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura). Detalhe para o 2° Ponto com o veio de solo hidromórfico/esbranquiçado/mole. Imagem registrada ao final do dia de trabalho; detalhe da percolação de água. Fonte: Imagens do Autor.

Da mesma forma que na Sapata 321, **a análise das diferentes capacidades de carga na base da fundação poderá auxiliar o projetista na tomada de decisões.** Hipoteticamente, se os ensaios tivessem detectado vários pontos de baixa capacidade de suporte, divergentes do que definido em projeto e, portanto, representando um percentual significativo da base, **o elemento de fundação não deveria ser liberado para a concretagem até que fossem readequados os dados de cálculo e a reformulação das soluções de fundação.**

Sapatas 321 e 316 – Análise e Resultados

A seguir na Figura 117, é possível conferir os resultados das tensões obtidas com os 08 ensaios realizados nas Sapatas 321 e 316, respectivamente. Nota-se que as maiores tensões tendem a ocorrer em solo localizado entre as duas fundações podendo indicar que esta região de solo tende a ser mais rígida.

Com base na sondagem SPT realizada no Ponto SP107 (Figuras 118 e 119), local próximo às sapatas 321 e 316, foi possível comparar os dados de resistência entre os 08 ensaios (08 pontos) conforme pode ser conferido na Tabela 10.

Figura 117: Apresentação das tensões resultantes dos ensaios nas Sapatas 316 e 321.
Fonte: Imagens do Autor.

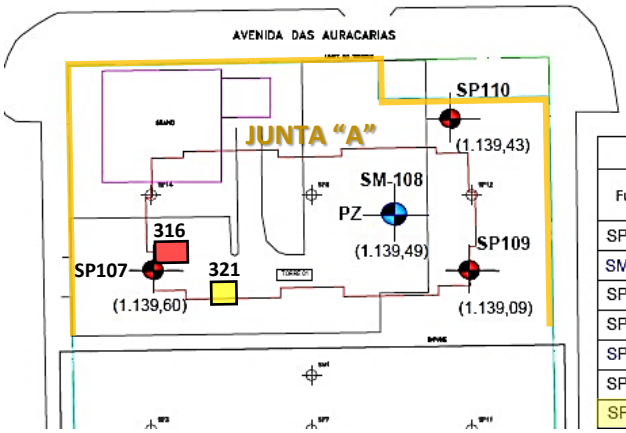


Figura 118: Ponto de sondagem SPT e sapatas de análise. Fonte: (FUNDEX, 2021).

RESUMO DAS SONDAGENS				
Furo	Data	Profund.	N.A	RN - (cota geodésica)
SP101	JUN/21	13,64m	-6,30m	1.138.370
SM102	JUL/21	21,15m	-6,52m	1.138.870
SP103	JUL/21	11,31m	-6,32m	1.138.730
SP104	JUL/21	14,29m	-6,27m	1.138.090
SP105	JUL/21	22,10m	-6,11m	1.138.150
SP106	JUL/21	14,16m	-6,10m	1.138.520
SP107	JUL/21	9,24m	-5,71m	1.139.600

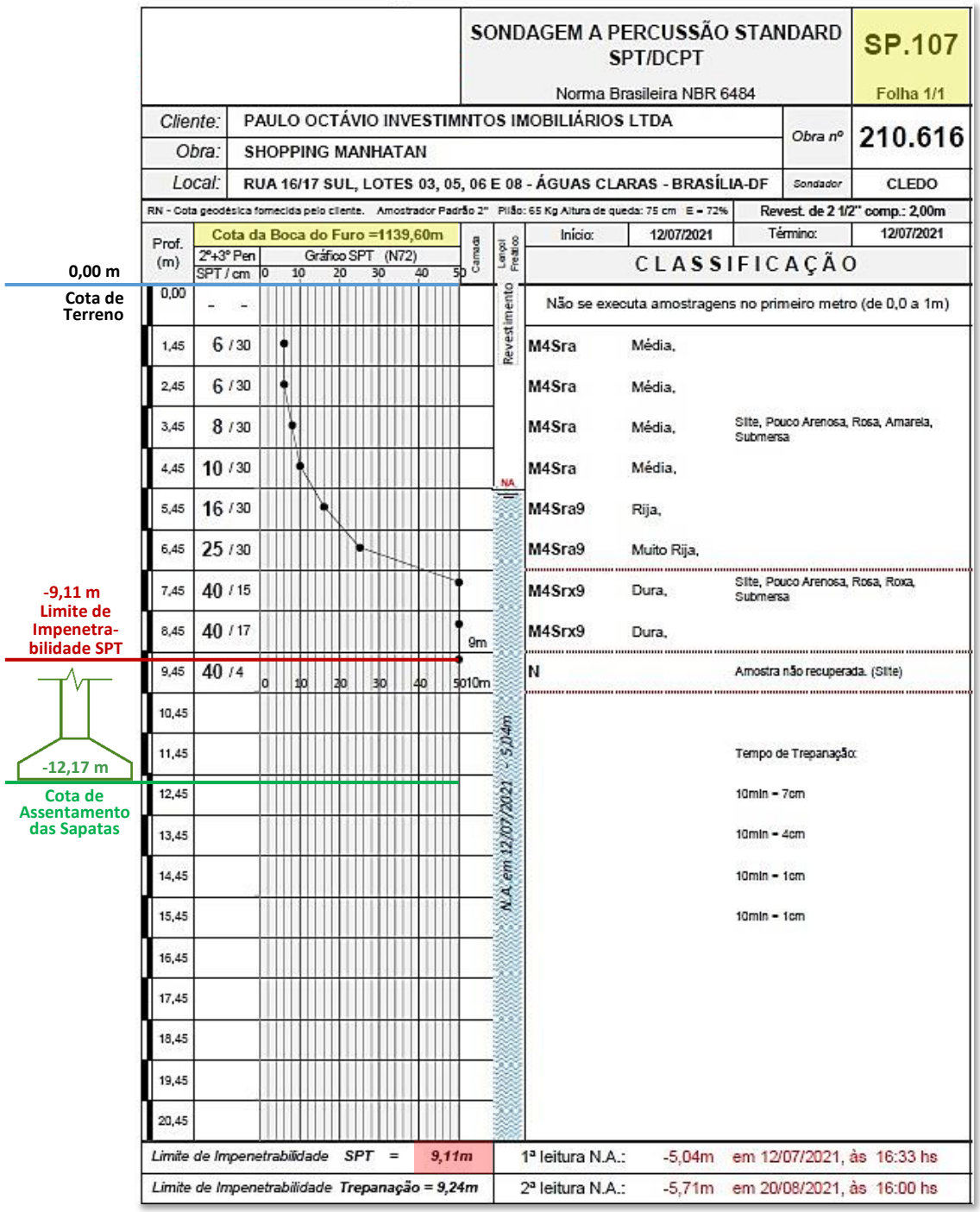


Figura 119: Laudo de Sondagem SPT – Ponto SP107 com cotas de profundidade das Sapatas em análise. Fonte: (FUNDEX, 2021).

Foi possível verificar o Limite de Impenetrabilidade por meio da sondagem SPT executada em campo natural. Com os dados correspondentes à soma dos golpes dos 30 cm finais, foi obtido o NSPT de 40 golpes na profundidade de -9,11 m. A cota de assentamento das Sapatas 321 e 316 está localizada a -12,17 metros de profundidade, teoricamente em solo mais resistente, exclusivamente pelo motivo de que o projeto arquitetônico previa 2 subsolos para garagem de veículos.

A título de análise e para uma melhor compreensão das possíveis decisões de projeto tomadas pelo projetista de fundações, os dados obtidos com os ensaios de Tensão Limite foram comparados tomando-se como base o Método Semiempírico de Vargas por meio do qual estabelece Fatores para a obtenção da tensão admissível aplicáveis a seis composições de solo utilizando o NSPT médio do bulbo de tensões das sapatas.

Vargas, em 1960, recomendou a utilização da relação NSPT com um fator empírico (K_{MV}) para obtenção da tensão admissível, conforme fórmula a seguir (BERBERIAN, 2015).

$$q_{adm} = 100 * NSPT / K_{MV}$$

Onde:

NSPT: média do NSPT referente ao bulbo de tensões da fundação.

K_{MV}: coeficiente de Milton Vargas (Kgf/cm²).

q_{adm}: carga admissível do solo (kN/m²).

A Tabela 10 demonstra os valores que Milton Vargas considerou para classificar os fatores a serem utilizados para cada tipo de solo (BERBERIAN, 2015).

Tabela 10: Cálculo Tensão Admissível pelo Método de Vargas

FATORES EMPÍRICOS DE VARGAS	
SOLO	**K_{MV} (Kgf/cm²)**
Areia	5,0
Areia Siltosa	5,5
Areia Argilosa	6,0
Silte	6,0
Silte Argiloso	6,5
Argila	7,0

Fonte: (BERBERIAN, 2015), adaptada pelo Autor.

Na Tabela 11 a seguir, em *Dados das Fundações*, em primeira mão é possível conferir que na **Sapata 321**, tomando-se o quociente da carga definida em projeto de 899.000 Kg pela área de 97.350 cm² (330 cm x 295 cm), tem-se uma tensão atuante de 0,906 MPa (9,23 Kgf/cm²). A carga de projeto na **Sapata 316** é de 826.000 Kg dividido pela área de 96.725 cm² (365 cm x 265 cm), obtém-se uma tensão de 0,838 MPa (8,54 Kgf/cm²). Na sequência, em *Ensaios Tensão Limite,* é possível verificar a compilação das tensões obtidas nos oito ensaios realizados nas Sapatas 321 e 316

Importante salientar que durante a realização dos ensaios, em reunião com a equipe de obra, foi explicitado que para a tipologia de solo do local da obra/região, caracterizado por Silte Pouco Arenoso, Roxo e Rosa (FUNDEX, 2021), os calculistas de fundações, usualmente, adotam 5 Kgf/cm² (0,491 MPa) como tensão admissível para o dimensionamento das sapatas. No caso das Sapatas 321 e 316, fazendo-se uso do *Cálculo Semiempírico de Vargas* e adotando-se o NSPT 40 como sendo o NSPT médio do bulbo de tensões dividido por K_{MV} = 6,0 (Silte), tem-se como resultado o valor de tensão admissível de 6,67 Kgf/cm² (0,654 MPa), ou seja, um valor superior ao valor adotado comumente pelos calculistas de fundações. Poder-se-ia dizer que, provavelmente, foi escolhido um fator ainda menor que para a Areia, K_{MV} = 5,0 uma vez que a média das tensões atuantes nas Sapatas 321 e 316 é de aproximadamente 9 Kgf/cm² (0,883 Mpa). O calculista, neste caso, adotou um ***menor* fator de segurança de projeto.**

Noutro caminho, se o projetista tivesse adotado o fator equivalente para o solo do local da obra - Silte, K_{MV} = 6,0 ou maior, a tensão admissível para o dimensionamento das sapatas passaria a ser de 6,67 Kgf/cm² (0,654 MPa). Os Siltes apesar de coesivos, diferentemente das areias, tendem a ter menor capacidade de suporte e, portanto, nesse caso, o calculista estaria trabalhando com um ***maior* fator de segurança de projeto.**

Tabela 11: Sapatas 321 e 316: Dados das Fundações, Ensaios Tensão Limite e Cálculo Semiempírico Milton Vargas

SHOPPING MANHATTAN ÁGUAS CLARAS							
Dados das Fundações							
SAPATA	PROFUND. (m)	ÁREA SAPATA (cm²) 330 x 295	CARGA DE PROJETO (Kg)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (MPa)		
321	-12,17	97.350	899.000	9,23	0,906		
SAPATA	PROFUND. (m)	ÁREA SAPATA (cm²) 365 x 265	CARGA DE PROJETO (Kg)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (MPa)		
316	-12,17	96.725	826.000	8,54	0,838		
Ensaios Tensão Limite							
SAPATA	PONTO ENSAIO	DESLOC. (mm)	COTA ASSENT. (m)	CARGA MÁX. (Kg)	ÁREA PISTÃO (cm²)	TENSÃO (Kgf/cm²)	TENSÃO ATUANTE (MPa)
321	**1**	1,50	-12,17	351,037	31,67	11,08	1,087
	2	0,70		358,007		11,30	1,109
	3	2,20		377,158		11,91	1,168
	4	3,00		311,329		9,83	0,964
316	**1**	3,00	-12,17	331,027	31,67	10,45	1,025
	2	12,90		347,120		10,96	1,075
	3	2,40		352,170		11,12	1,091
	4	1,30		354,244		11,19	1,097
Cálculo Semiempírico Milton Vargas							
SAPATA	PROFUND. (m)	NSPT	SOLO	K_{MV} (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISSÍVEL (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISSÍVEL (MPa)	
321 316	-9,11 m	**40**	Areia	5,00	8,00	0,785	
			Areia Siltosa	5,50	7,27	0,713	
			Areia Argilosa	6,00	6,67	0,654	
			Silte	6,00	6,67	0,654	
			Silte Argiloso	6,50	6,15	0,604	
			Argila	7,00	5,71	0,561	

Fonte: Tabela do Autor.

ESTUDO 02: Conjunto de Uso Misto – Comercial e Habitação Coletiva

Dados do Empreendimento: Construtora Supera Engenharia Ltda.

Localização: Avenida Araucárias, Lote 365 – Águas Claras, DF - Brasília - DF, 71930-000, com acesso pela Rua Ipê Amarelo (Figuras 120 e 121).

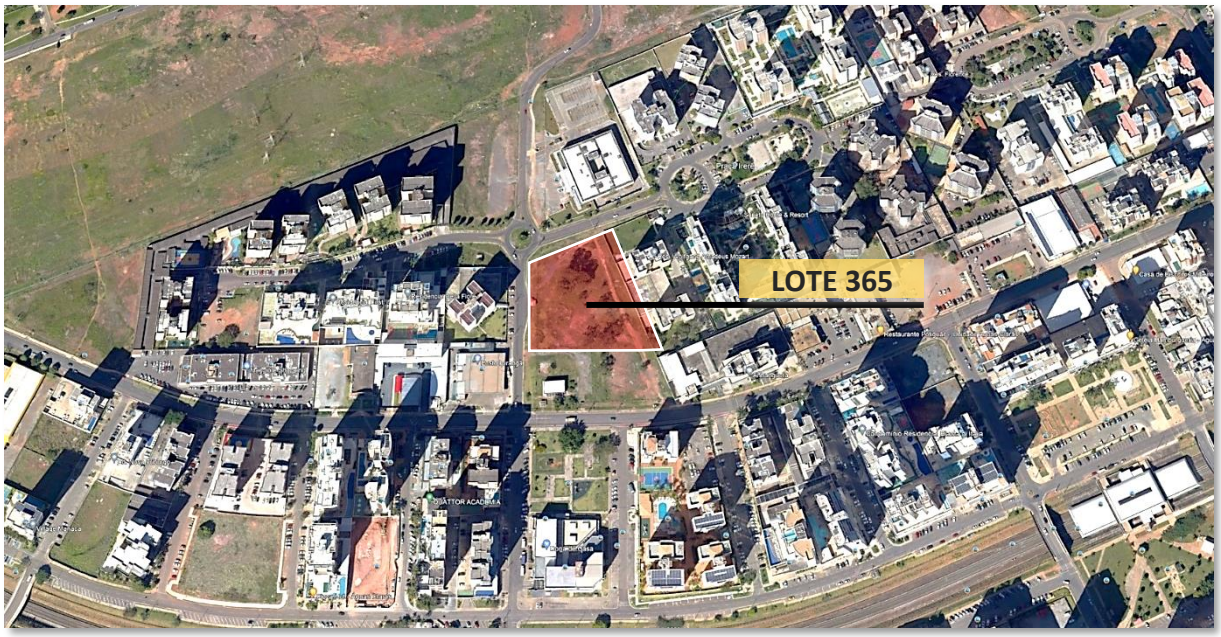


Figura 120: Situação do lote em Águas Claras. Fonte: Google Maps.

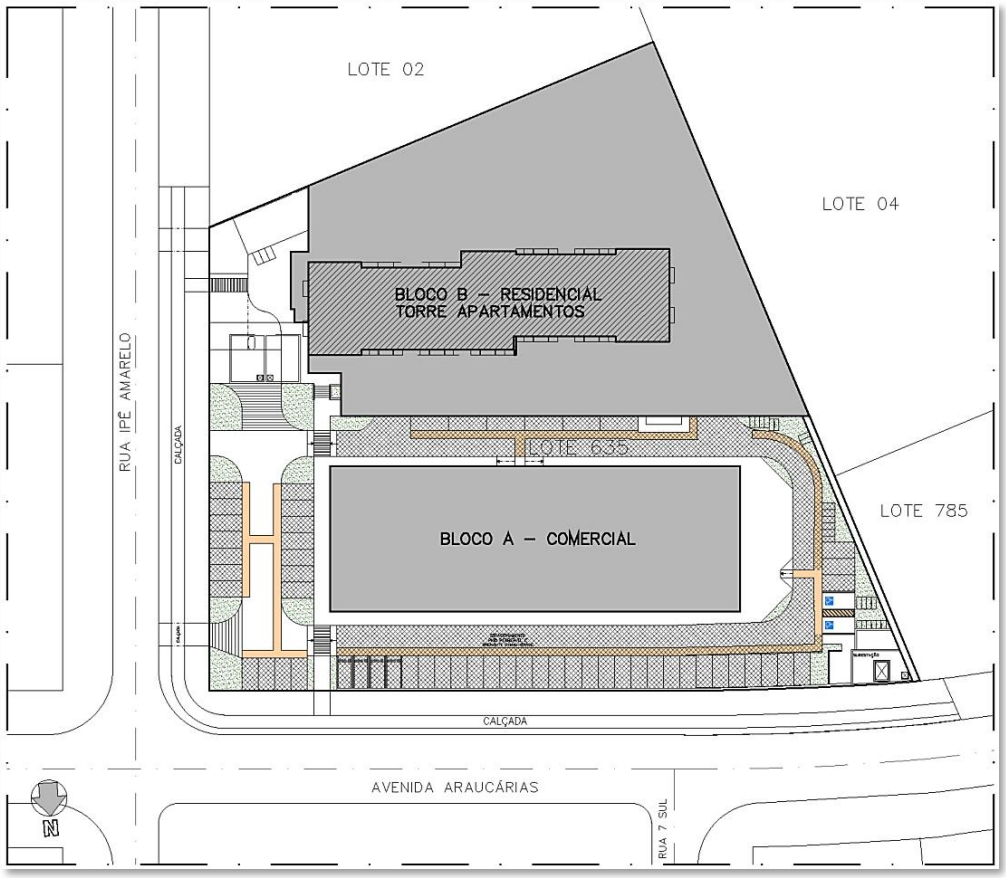


Figura 121: Planta de Situação e Locação. Fonte: (SUPERA, 2023).

Sapata 1715 – Ensaios

Características da fundação em análise: Localizada no Bloco Residencial do conjunto edificado. Sapata 1715, dimensões 1,70 metros x 1,50 metros, cota de assentamento 1.123,80 m e altura 2,20 metros (Figuras 122 e 123). Em sequência, nas Figuras de 124 a 127, podem ser conferidos a logística, os procedimentos e os ensaios propriamente ditos.

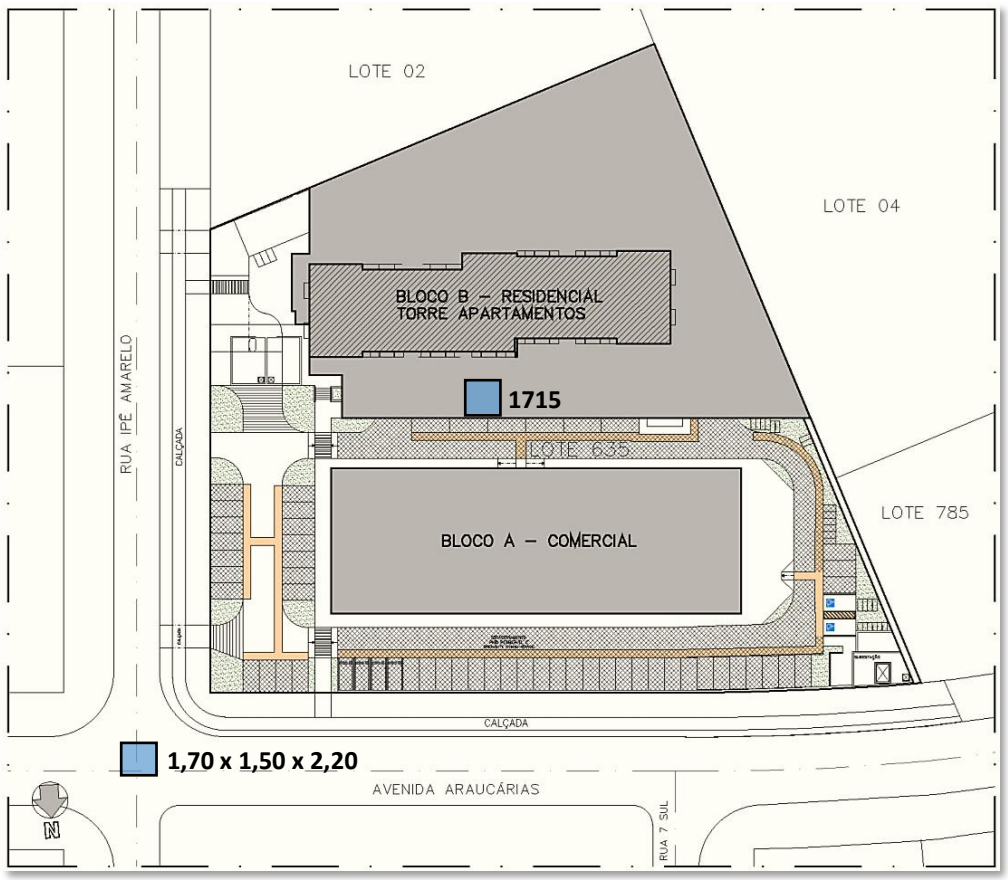


Figura 122: Localização da sapata; objeto de estudo. Fonte: (SUPERA, 2023).

Figura 123: Sapata 1715; objeto de estudo.
Fonte: Imagem do Autor.

Figura 124: Terreno/canteiro de obras. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 125: Mobilização até a fundação/sapata. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 126: Checagem do equipamento através da visita lateral, checagem da profundidade, condições de umidade do solo e serviços de planificação realizados pelo Autor. Fonte: Imagem do Autor.

Figura 127: Limpeza fina, checagem do nível, testagem preliminar, assentamento e equipamento e ensaios realizados pelo Autor. Fonte: Imagem do Autor.

Na Figura 128 é possível conferir os resultados dos quatro ensaios realizados na **Sapata 1715** para comparação bem como um mapeamento de capacidade de suporte de carga nos quatro pontos dentro da fundação.

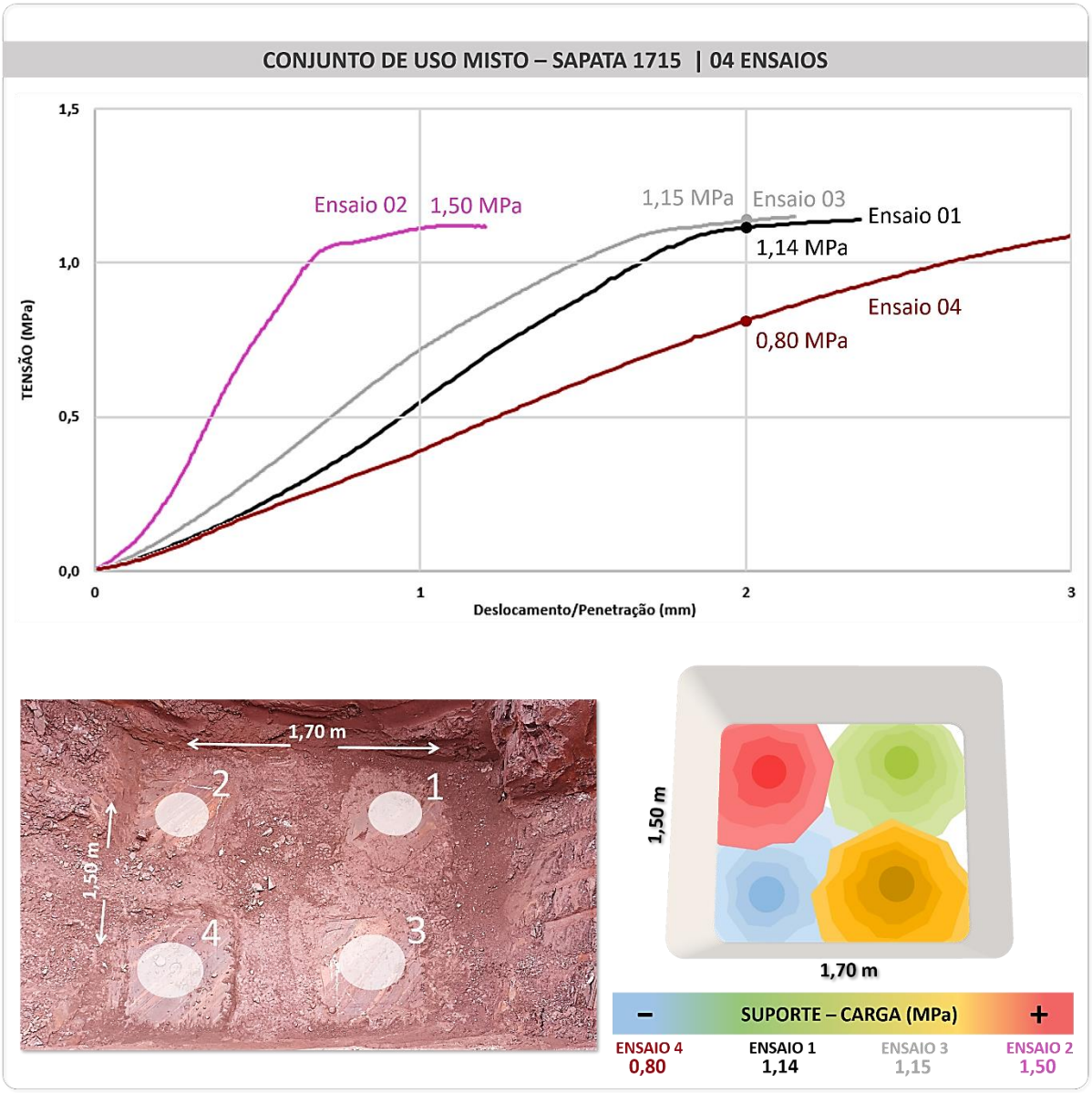


Figura 128: Infográfico Sapata 1715: curvas dos ensaios, localização dos pontos e mapa das cargas na base da sapata. Dimensões da sapata: 1,70 x 1,50 metros. Quantidade de ensaios: 04 pontos. Escavação: mecânica e limpeza manual. Fonte: Imagem e gráfico do Autor.

Tomando-se como referência o deslocamento de 2 mm, próximo dos picos de resistência, foi possível verificar que a região de solo no Ponto 2 apresentou maiores capacidades de suporte de carga, seguidos pelos Pontos 3, 1 e 4, respectivamente. A região de solo do Ponto/Ensaio 2 encontrava-se extremamente dura e em decorrência foram atingidos os limites máximos de aplicação de carga diminuindo, em consequência, o tempo de ensaio (Figura 129).

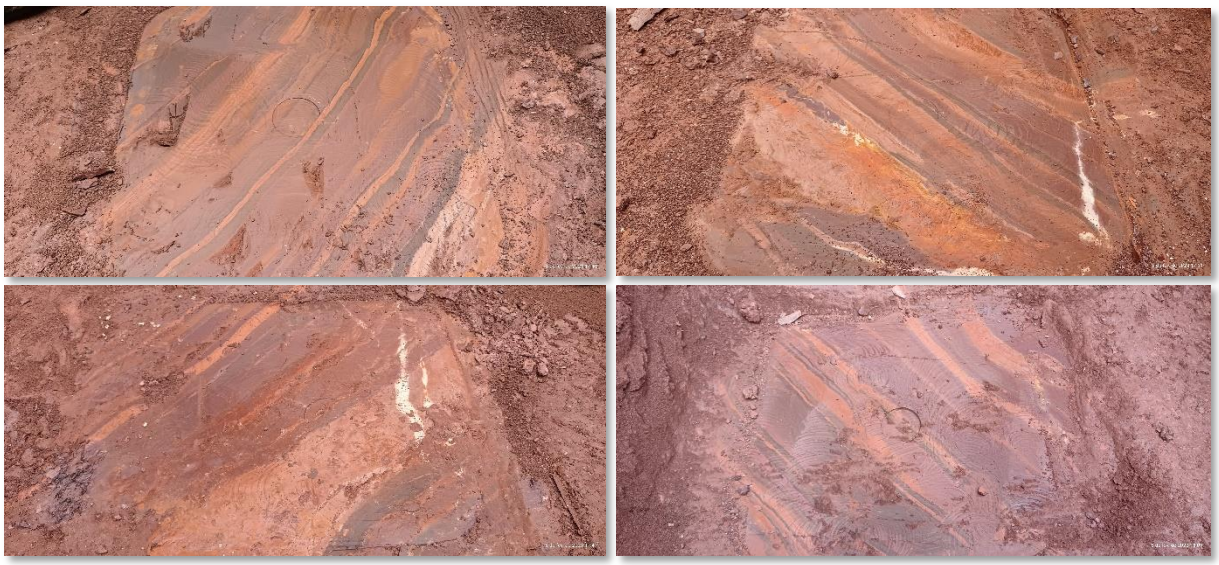


Figura 129: Marca do pistão no solo após ensaios na Sapata 1715. Ensaios de 1 a 4 (em ordem de leitura).
Fonte: Imagens do Autor.

Sapata 1715 – Análise e Resultados

Com base na sondagem SPT realizada no Ponto SPT2 (Figuras 130 e 131), local próximo à Sapata 1715, foi possível comparar os dados de resistência entre os quatro ensaios realizados conforme pode ser conferido na Tabela 12.

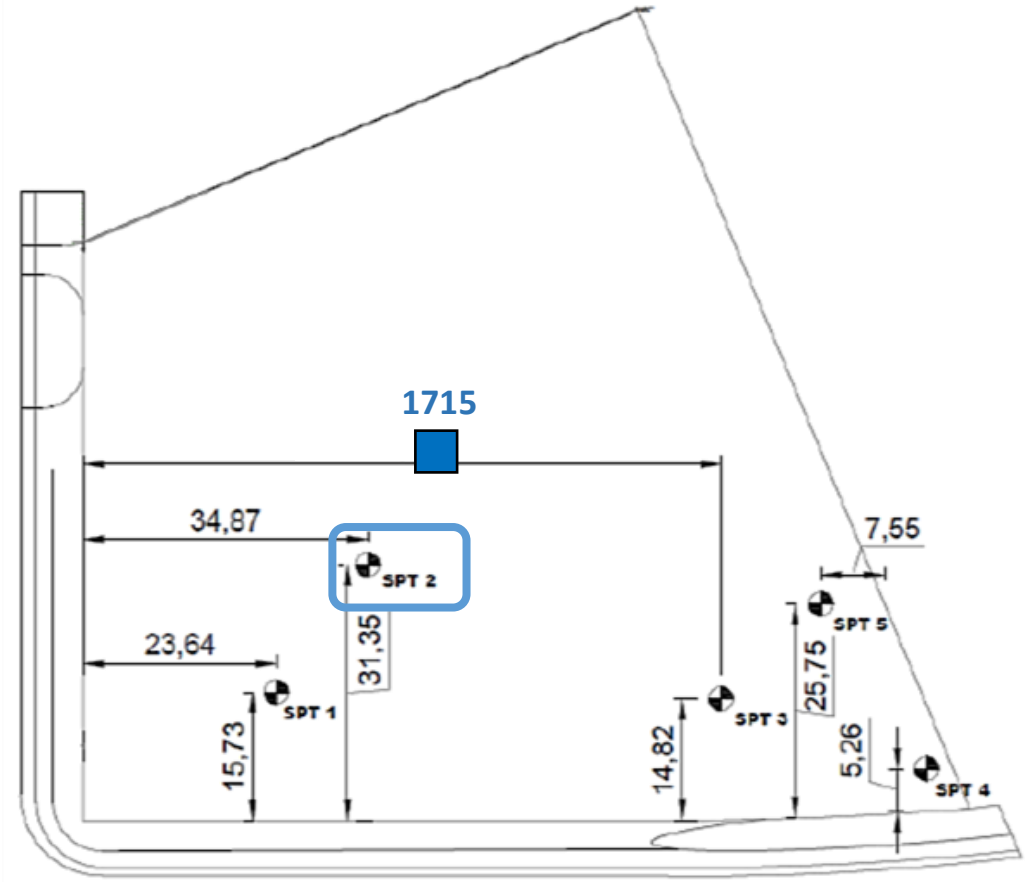


Figura 130: Localização do ponto de Sondagem SPT – Ponto SPT2 e local da fundação.
Fonte: (REFORSOLO, 2021).

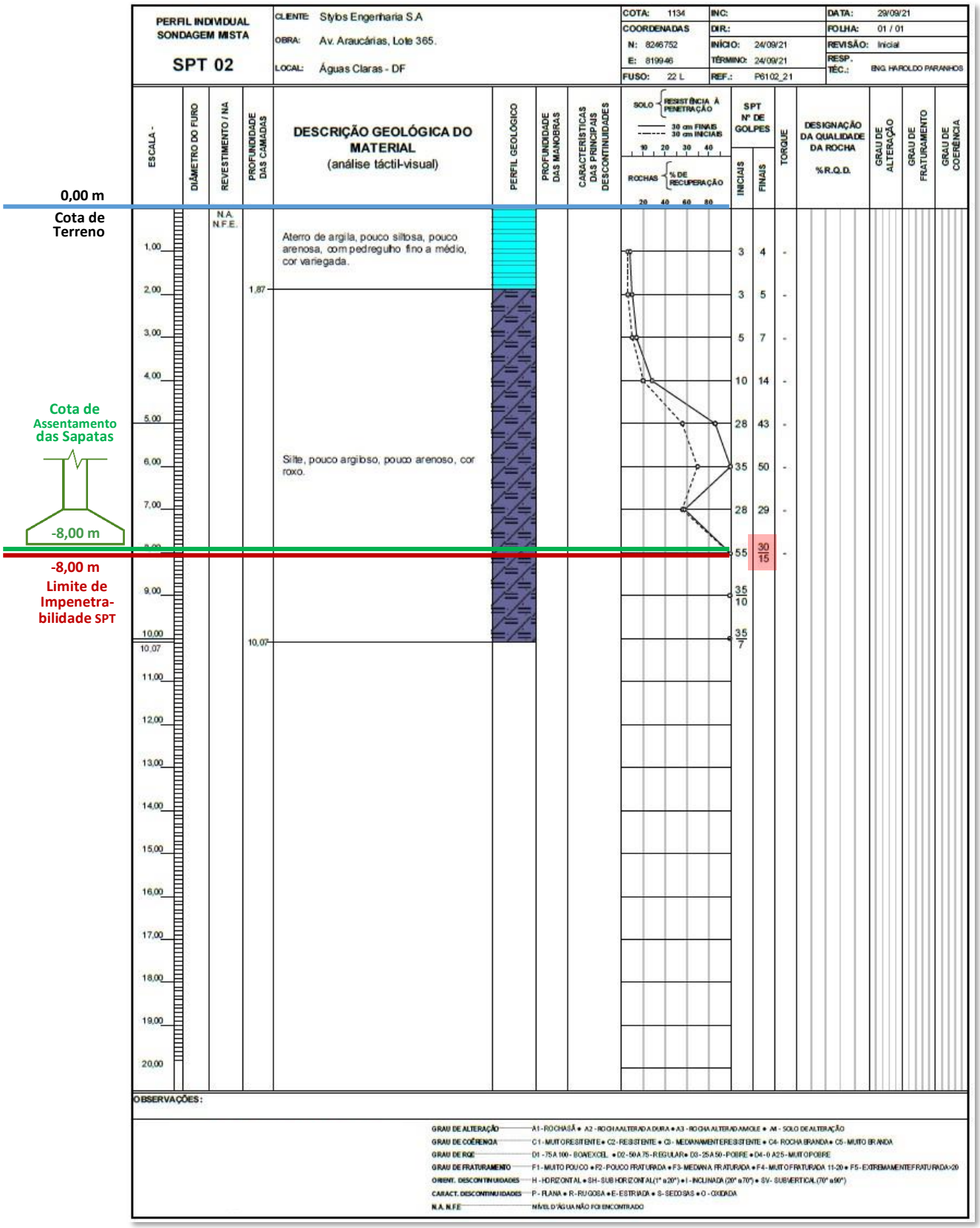


Figura 131: Laudo de Sondagem SPT – Ponto SPT2 com cotas de profundidade da Sapata em análise. Fonte: (REFORSOLO, 2021).

A sondagem SPT foi realizada em campo natural e por meios dos dados foi possível verificar o Limite de Impenetrabilidade SPT (NSPT) correspondente à soma dos golpes dos 30 cm finais, 45 golpes (30 | 15) na profundidade de -8,00 m. A cota de assentamento da

Sapata 1715 está localizada a -8,00 metros de profundidade. A carga definida em projeto (Dados da Fundação) para a Sapata 1715 é de 76.476 Kg. A área da base da sapata é de 25.500 cm² (170 cm x 150 cm) obtendo-se uma tensão de 0,294 MPa (3,00 Kgf/cm²).

Na Tabela 12 a seguir, é possível verificar as tensões obtidas nos quatro ensaios realizados na Sapata 1715. Conforme explicitado anteriormente, para a localidade os projetistas adotam em seus projetos o valor de 5 Kgf/cm² (0,49 MPa) como tensão admissível para as sapatas. Desta forma, pelo *Método Semiempírico de Vargas* e adotando-se o NSPT médio como 45 dividido por K_{MV} = 6,0 (Silte), obtém-se uma tensão admissível de 7,50 Kgf/cm² (0,736 MPa) para o dimensionamento das sapatas.

Nesta **Sapata 1715,** em especial, a tensão de projeto foi menor que a metade do valor da tensão admissível obtida pelo método semiempírico e, portanto, nesse caso, o calculista trabalhou com um ***maior*** **fator de segurança de projeto.**

Após os ensaios de Tensão Limite realizados na Sapata 1715, o engenheiro responsável pela liberação das fundações poderia, imediatamente, liberar a fundação para a concretagem agilizando o processo e controle da obra. As tensões efetivamente aplicadas pelo aparelho foram da ordem de 11 Kgf/cm² (1,079 MPa) o que proporciona uma boa margem de segurança para a tomada de decisão.

Em resumo, o equipamento mostrou-se eficiente no canteiro de obras.

Tabela 12: Sapata 1715: Dados da Fundação, Ensaios Tensão Limite e Cálculo Semiempírico Milton Vargas

CONJUNTO DE USO MISTO ÁGUAS CLARAS

Dados da Fundação

SAPATA	PROFUND. (m)	ÁREA SAPATA (cm²) 170 x 150	CARGA DE PROJETO (Kg)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISS. SOLO TENSÃO DE PROJETO (MPa)
1715	-8,00	25.500	76.476	3,00	0,294

Ensaios Tensão Limite

SAPATA	PONTO ENSAIO	DESLOC. (mm)	COTA ASSENT. (m)	CARGA MÁX. (Kg)	ÁREA PISTÃO (cm²)	TENSÃO (Kgf/cm²)	TENSÃO ATUANTE (MPa)
1715	**1**	2,30	-8,00	367,423	31,67	11,60	1,138
	2	1,20		360,340		11,38	1,116
	3	2,10		371,239		11,72	1,150
	4	3,10		363,313		11,47	1,125

Cálculo Semiempírico Milton Vargas

SAPATA	PROFUND. (m)	NSPT	SOLO	K_{MV} (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISSÍVEL (Kgf/cm²)	TENSÃO ADMISSÍVEL (MPa)
1715	-8,00	**40**	Areia	5,00	8,00	0,785
			Areia Siltosa	5,50	7,27	0,713
			Areia Argilosa	6,00	6,67	0,654
			Silte	6,00	6,67	0,654
			Silte Argiloso	6,50	6,15	0,604
			Argila	7,00	5,71	0,561

Fonte: Tabela do Autor.

esta cova em que estás, com palmos medida
é a conta menor que tiraste em vida
é de bom tamanho, nem largo nem fundo
é a parte que te cabe deste latifúndio
não é cova grande, é cova medida
é a terra que querias ver dividida
é uma cova grande pra teu pouco defunto
mas estarás mais ancho que estavas no mundo
é uma cova grande pra teu defunto parco
porém mais que no mundo te sentirás largo
é uma cova grande pra tua carne pouca
mas à terra dada, não se abre a boca
é a conta menor que tiraste em vida
é a parte que te cabe deste latifúndio
é a terra que querias ver dividida
estarás mais ancho que estavas no mundo
mas à terra dada, não se abre a boca

sobre o solo, assentam-se os pés...

Imagem: Sebastião Salgado. Texto e canção: Funeral de um lavrador, canção composta por Chico Buarque para a montagem do poema pelo grupo do Teatro da Universidade Católica de São Paulo (Tuca), em 1965. Paráfrase: Chico Júnior.

8. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios realizados em dois campos de prova na cidade de Águas Claras, foi possível analisar os resultados obtidos com o Equipamento Tensão Limite com outras tipologias de ensaio, isto é, verificar e comparar os resultados de capacidade de suporte de solos. A instituição de uma nova tipologia de ensaio para a averiguação de resistência do solo – fundações rasas ou bases compactadas – promove uma gama de ótimas possibilidades. Poderá vir a se tornar um ensaio complementar de grande utilidade uma vez que auxilia, agiliza e qualifica os trabalhos de inspeção direta de resistência de solos desenvolvidos pela geotecnia. Basicamente, o ensaio poderá ser utilizado para a liberação/confirmação das fundações para a fase de concretagem, isto é, um procedimento auxiliar sempre atrelado aos ensaios preliminares de projeto.

Em especial no caso de sapatas ou em locais de difícil acesso, o Equipamento/ensaio poderá ser amplamente utilizado qualificando as soluções dos projetos de fundações. Ficou comprovado, em comparação com outros ensaios e com a variedade de pontos verificados pelo aparelho, que podem ocorrer variações da capacidade de suporte em bases de fundações.

Em que pese serem consagrados os ensaios de Placa e CBR *in situ*, muitas vezes tornam-se inviáveis a depender da situação logística ou de custeio. O novo procedimento comporta características dos dois ensaios com a vantagem da obtenção de resultados imediatos além da portabilidade e da praticidade de execução. A princípio, é aplicável a qualquer tipo de solo e no caso de bases compactadas, as partículas devem ser menores que 06 mm. A NBR 6122 exige que sejam realizadas inspeções preliminares antes da liberação das fundações para a concretagem. A inédita possibilidade de realização de vários ensaios de capacidade de suporte dentro de fundações pode incrementar a qualidade dos projetos de infraestrutura.

O desenvolvimento de versões avançadas do Equipamento de Ensaio de Tensão Limite poderá viabilizar a verificação do solo na base de tubulões e até mesmo em pontas de estacas. No caso das sapatas os ganhos podem ser imediatos. O calculista de fundações, após a realização dos Ensaios de Tensão Limite em campo poderá, se for o caso, instituir novas soluções para a fundação e/ou reforços nas armaduras ou no bloco da sapata a fim de prevenir comportamentos indesejáveis.

Noutro caminho, os dados obtidos com as inúmeras verificações que o Equipamento de Tensão Limite permite serem realizadas diretamente nas fundações poderão servir de estudos, comparações e correlações posteriores a fim de confirmar e qualificar os resultados apresentados pela sondagem SPT que, ultimamente, vem recebendo críticas com relação à grande dispersão de resultados devido aos valores da energia aplicada sobre a haste, dentre outras restrições.

Eventualmente, o Equipamento poderá vir a ser utilizado em zonas de risco ou em situações emergenciais, em específico, nas regiões do país em que ocorreram ou poderão vir a ocorrer situações de colapso da superfície do solo devido a efeitos climáticos, sobrecargas indevidas, fundações inadequadas ou execuções sem acompanhamento técnico.

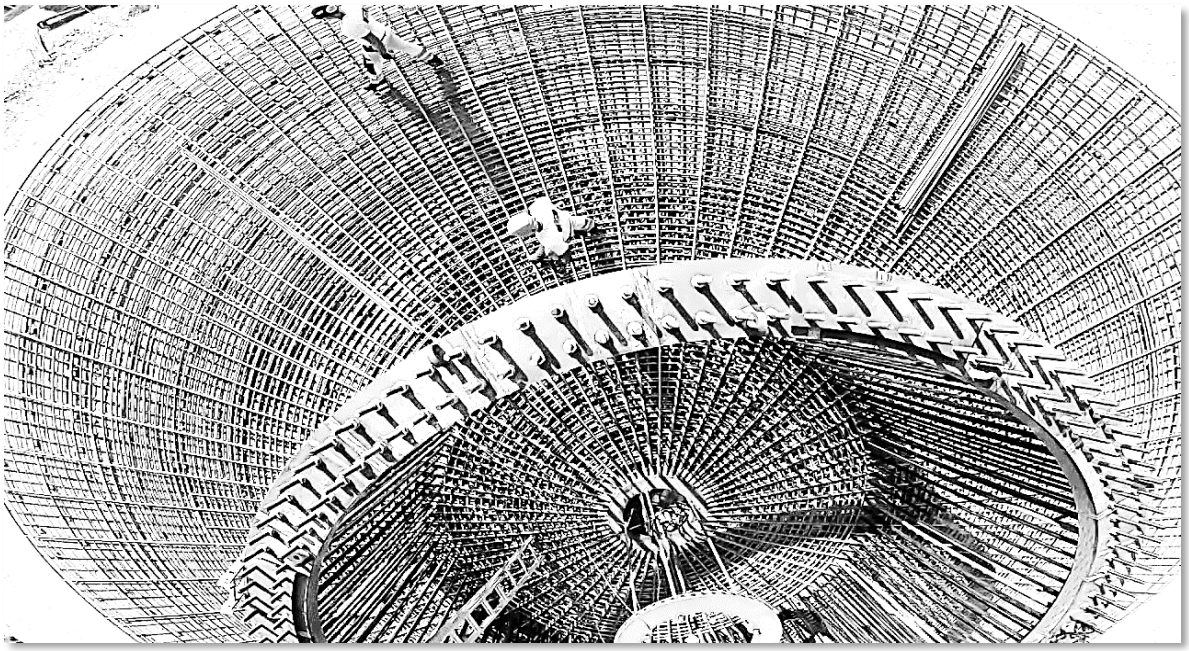
A prevenção de desastres naturais requer medidas prévias e estruturais com recursos e planejamento de Estado. A falta de investimentos governamentais na infraestrutura, em muitos casos, são a causa dos sinistros que vêm aumentando, principalmente, nas cidades. A cada ano cresce o percentual de construções em áreas de risco, com frequência, sob as encostas de morros, nas baixadas urbanas ou à beira dos rios. Nestes locais não é recomendado a construção de casas, prédios ou instalações uma vez que estão severamente expostas a desabamentos ou inundações. Dentre as causas das situações de risco e emergenciais estão a própria ação e movimentos cíclicos da natureza que são agravados, em conjunto, pela ocupação desordenada do solo, impermeabilização do solo, pobreza e ausência do estado, falta de conscientização social, dentre outros.

O Estado, em conjunto com as organizações e entidades do setor da geotecnia bem como o meio acadêmico, poderão prestar serviços de assistência à população em casos de possíveis sinistros tomando medidas de análise e avaliação técnica com a diminuição dos riscos às pessoas e às comunidades como um todo. A mobilidade e a praticidade promovida pelo Equipamento e pelo ensaio desenvolvido nesta Tese, além da comprovada eficiência técnica, poderão vir a auxiliar a tomada de decisão por parte dos agentes públicos a fim de minimizar ou evitar danos à sociedade e aos cidadãos tanto em áreas urbanas quanto em zonas rurais.

Os trabalhos desta pesquisa, em resumo, **comprovaram a eficiência do Equipamento e dos ensaios** promovendo os seguintes desenlaces:

a) Ineditismo tecnológico e tipologia de ensaio inovadora;
b) Avaliações mais precisas e pormenorizadas da capacidade de suporte do solo da base de assentamento de fundações;
c) Economia de tempo e energia operacional com os ensaios com duração de 20 a 60 minutos;
d) Velocidade de resposta com a liberação da fundação para concretagem;
e) Menores quantidades de retrabalho na obra;
f) Economia de matéria prima durante a construção da infra e super estrutura com ganhos em sustentabilidade;
g) Racionalização do processo de construção de fundações;
h) Ganhos proporcionais nos custos finais da obra podendo ser revertidos em preços de venda mais competitivos.

O avanço dos materiais e das técnicas construtivas exigem desenvolvimentos contínuos da Geotecnia. Os solos em diferentes locais têm comportamentos e composições muito distintas, além da presença de ar, água e, muitas vezes, matéria orgânica. Portanto, não há como definir características e comportamentos padronizados. Neste sentido, a ciência busca incessantemente promover avanços nas verificações, nos cálculos e nos projetos, contribuição pretendida com esta Tese.



Fundação/Sapata de turbina de torre eólica. Fonte: Internet domínio público.

Proposições de Trabalhos Futuros

Um possível desdobramento deste trabalho, reside no desenvolvimento de **correlações dos resultados obtidos no ensaio de Tensão Limite com outros métodos de verificação de solo,** tais como SPT e DCP. As correlações irão consolidar as análises obtidas no ensaio auxiliando melhores soluções de projeto de fundações visto que os dados são obtidos diretamente na base das fundações, *in situ*.

Os ensaios de Tensão Limite têm a característica de produzir resultados decorrentes da ação de cargas aplicadas diretamente sobre o solo. O contrapeso de, aproximadamente, 380 Kg, atua na direção vertical contra à superfície do solo, base da fundação ou da base compactada gerando uma sequência de cargas e deslocamentos, objetos de análise e avaliação posterior. Assim, outra oportunidade encontra-se na **adaptação** do Equipamento de Tensão Limite com o objetivo de realizar análises da resistência do solo **ao longo do fuste de estacas**. As cargas seriam aplicadas dentro do furo na direção horizontal pressionando a parede do fuste. O reduzido diâmetro destes elementos de fundação, em geral, dificulta e, muitas vezes, impossibilita a instalação de equipamentos portáteis para verificação do solo ao longo do elemento de fundação. Desta forma, um mecanismo pode ser desenvolvido e acoplado ao equipamento de Tensão Limite de modo que possa penetrar o furo da estaca, com a aplicação de cargas nas paredes e ao longo do seu comprimento/profundidade.

Em detalhe, um cabeçote com 02 pistões posicionados de forma oposta e conectados ao fuso do eixo do motor por uma barra rígida ficariam encarregados de desempenhar a ação de carga. Os pistões instalados de maneira simétrica atuariam na mesma direção e em sentidos opostos contra as faces internas do furo da estaca que, em decorrência deste arranjo, ficariam “encarregadas” da reação.

Esta configuração do sistema prescinde do contrapeso do equipamento uma vez que o próprio solo desempenharia esse papel, entretanto, os pesos poderiam ser mantidos para estabilizar o conjunto. A adaptação da tipologia de ensaio permitiria que fossem calculadas as tensões e deslocamentos ao longo do fuste, determinantes para a verificação do dimensionamento dos elementos de fundação.

O mecanismo portátil poderia ser montado com peças encaixáveis permitindo a penetração em várias profundidades para análise e coleta de dados. Em específico, na base inferior da mesa móvel do equipamento, no lugar da célula de carga e do pistão original, pode

ser fixado um tubo rígido de seção quadrada, encaixáveis e rosqueáveis, de modo a adentrar diferentes profundidades na estaca. Dentro desse tubo, encontrar-se-ia uma barra de aço de seção redonda e maciça ligada e fixada diretamente no eixo do motor de passo.

Na ponta da outra extremidade deste conjunto (tubo quadrado e barra redonda), seria instalado um “cabeçote de pressão” com dois pistões fixados de maneira oposta, uma célula de carga unidimensional e também um leitor LVDT para aferição dos deslocamentos. Para melhor compreensão deste elemento mecânico pode-se dizer que o mesmo funcionaria como um “diferencial de carga e deslocamento” em analogia aos diferenciais de eixo de rotação de veículos automotores.

Para a realização do ensaio propriamente dito, penetrar-se-ia na estaca o conjunto tubo + barra + cabeçote de pressão de acordo com uma profundidade previamente estabelecida. O acionamento do equipamento, em específico do motor de passo, realizaria a rotação do fuso que, por sua vez, estaria conectado ao “diferencial de carga e deslocamento”, pressionando os 02 pistões contra as faces laterais do fuste da estaca (Figuras 132, 133 e 134). O mecanismo permitiria que se verificassem os valores de carga e de deslocamento aplicados contra o solo para a posterior verificação da resistência. A sequência de figuras a seguir demonstram o mecanismo.

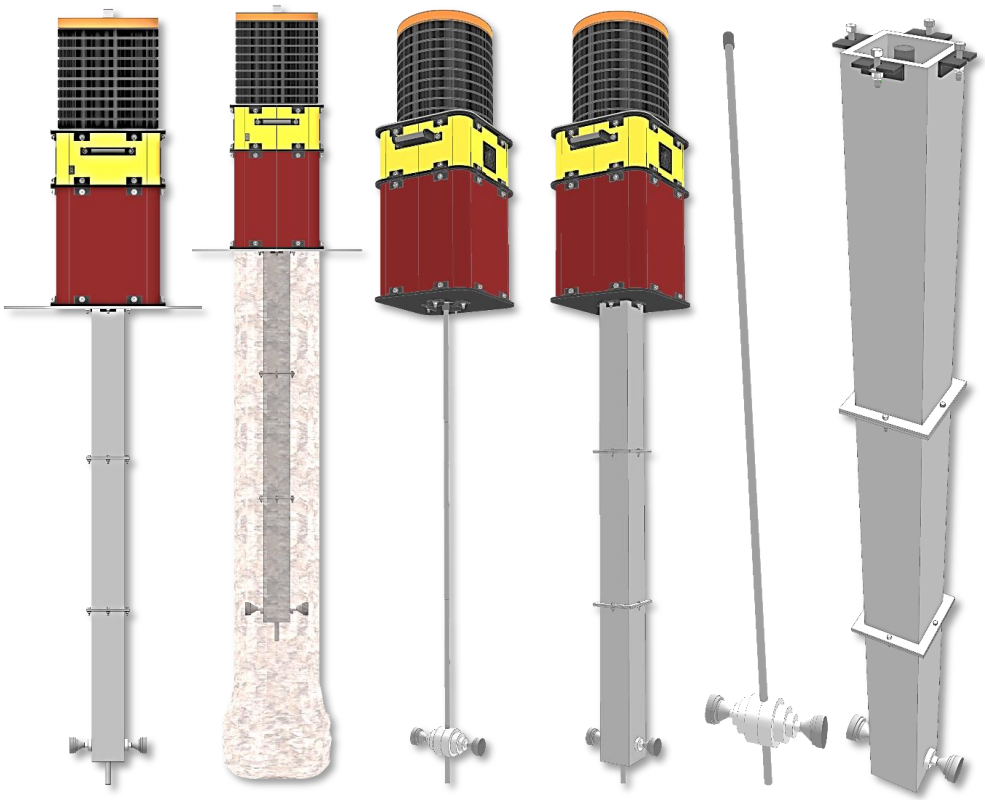


Figura 132: Detalhe do mecanismo de pressão horizontal. Da esquerda para a direita: 1 - Elevação; 2 - Elevação dentro da estaca; 3 - Fuso e cabeçote; 4 - Conjunto completo; 5 - Detalhe da barra e cabeçote; 6 - Detalhe do conjunto completo. Fonte: Desenho do Autor.

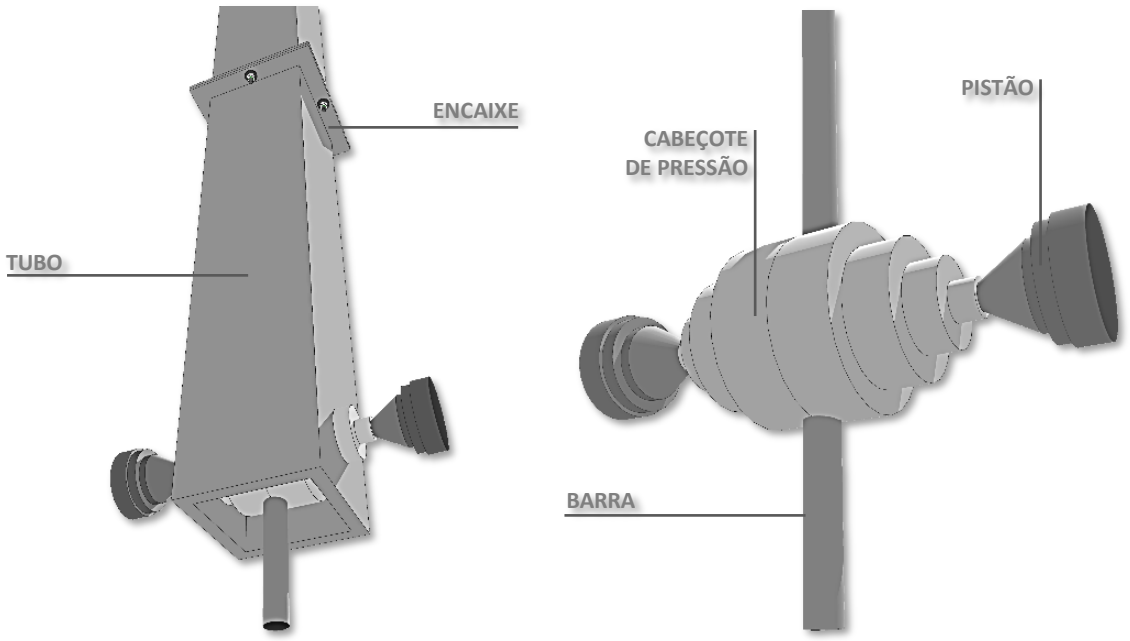


Figura 133: À esquerda, detalhe do encaixe do tubo metálico com cabeçote de pressão internamente posicionado, pronto para uso e, à direita, detalhe do *Cabeçote de Pressão* constituído por dois pistões simétricos e opostos. Internamente à caixa cilíndrica do cabeçote, encontra-se a célula de carga e o verificador de deslocamentos - LVDT. Fonte: Desenhos do Autor.

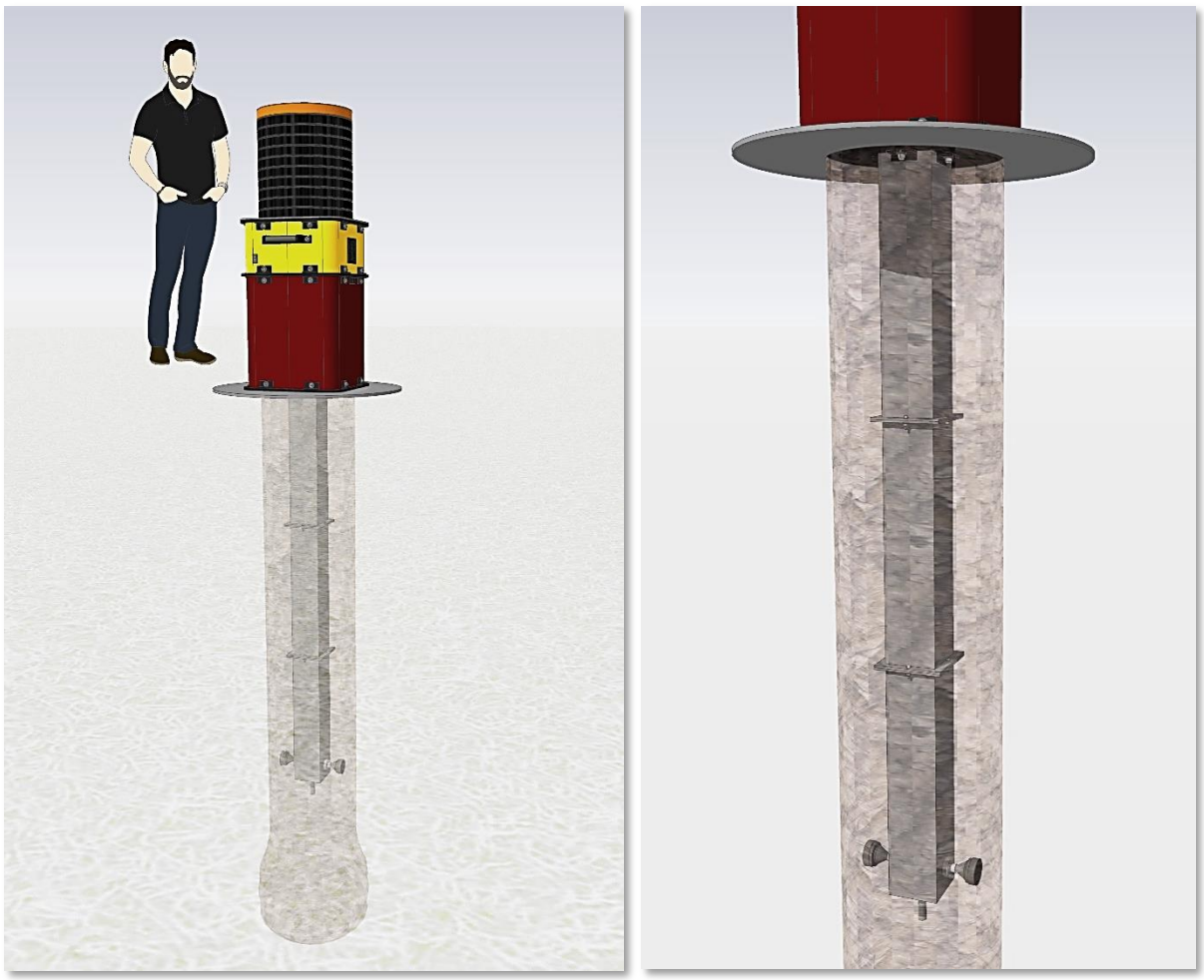


Figura 134: Perspectivas do mecanismo de verificação de resistência lateral de solo penetrado no elemento de fundação (estaca) pronto para a realização do ensaio. Fonte: Desenhos do Autor.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7250. (Abril de 1982). NBR. *Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento de solos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABMS. (10 de Novembro de 2021). Fonte: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: https://www.abms.com.br/

ABMS, A. B. (21 de Dezembro de 2022). *ABMS*. Fonte: ABMS: https://www.abms.com.br/abms/historia.php

ABNT. (Abril de 1982). NBR 7250. *Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (Junho de 1983). NBR 8036. *Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (Dezembro de 1984). NBR 6489. *Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (Agosto de 1986). NBR 6457. *Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (Junho de 1991). NBR 12069. *MB 3406 - Ensaio de Penetracao de Cone in Situ (CPT)*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (Setembro de 1995). NBR 6502. *Rochas e Solos*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (31 de Março de 2003). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (04 de Julho de 2007). NBR 13208. *Estacas - ensaio de carregamento dinâmico*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (18 de Julho de 2007). NBR 15492. *Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - procedimento*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (03 de Outubro de 2016). NBR 9895. *Solo - Índice de suporte Califórnia - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (30 de Setembro de 2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT.

ABNT. (28 de Outubro de 2020). NBR 6484. *Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT - 2a Edição.

ABNT. (29 de Outubro de 2022). *ABNT*. Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas: https://www.abnt.org.br/normalizacao/sobre

AGUIAR, M. F., BESSA, A. K., CARNEIRO, D. A., & PEIXOTO, L. S. (2020). Estudo das Características Mecânicas, Expansão e Correlação DCP x ISC em Misturas de Solo com Escória de Aciaria para Camadas de Pavimentos. *Engenharia e Geotecnia - Princípios Fundamentais*, 487.

ALÉMDAINÉRCIA. (25 de Outubro de 2021). Fonte: Além da Inércia: https://alemdainercia.com/

ALVIM, S. P. (1999). Arquitetura Religiosa Colonial no Rio de Janeiro. *VOL. II - Plantas, Fachadas e Volumes*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: UFRJ / IPHAN.

ARQUITETURA, C. d. (11 de Novembro de 2021). Fonte: Coisas da Arquitetura: https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2011/01/02/a-igreja-de-sao-pedro-dos-clerigos/

ASBRAN, A. B. (12 de Novembro de 2021). Fonte: ASBRAN Associação Brasileira de Nutrição: https://www.asbran.org.br/

BARATA, F. (1990). Desempenho da Geotecnia Brasileira no Últimos 20 Anos. *Palestra comemorativa do 40o aniversário da ABMS, Sessão de Encerramento do 9o COBRANSEG*. Salvador, BA, Brasil: ABMS.

BATISTA, L. C. (2007). Determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo. *Dissertação - Mestrado em Geotecnia*. Brasília, DF, Brasil: Universidade de Brasília.

BATTAGIN, I. L. (26 de Setembro de 2014). Norma não é lei, mas por força de lei é obrigatória. CREA-SC.

BELINCANTA, A., PEIXOTO, A., & MIGUEL, M. (2010). *Sondagem de simples reconhecimento com SPT e torque.* Maringá: Universidade Estadual de Maringá (Eduem), Coleção Fundamentum.

BERBERIAN, D. (2015). *Engenharia de Fundações 1ª edição.* Brasília: UnB.

BERTI, C. (2005). Avaliação da Capacidade de Suporte de Solos "In Situ" em Obras Viárias Através do Cone de Penetração Dinâmica - Estudo Experimental". Campinas, São Paulo, Brasil: Universidade Estadual de Campinas.

BIOPDI. (25 de Outubro de 2021). Fonte: Ensaio CBR e Índice de Suporte Califórnia: https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-cbr-indice-suporte-california/

BP_INSTITUT. (03 de Novembro de 2021). *BP INSTITUT*. Fonte: http://bp-institut.com

CAMPOS, G. C. (01 de Março de 2021). Fonte: AECWeb: https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-construir-em-solos-argilosos-conheca-boas-praticas/19176

CAPUTO, H. P. (1988). *Mecânica dos Solos e suas Aplicações.* Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A.

CFT &, A. (04 de Novembro de 2021). *Ensaios de Teste de Pilha*. Fonte: Consultoria especializada e fornecimento de equipamentos: https://fernandeztadeo.com/WordPress/?page_id=835

CINTRA, J. C., & AOKI, N. (2010). *Fundações por Estacas.* São Paulo: Oficina de Textos.

CIVICONCEPTS. (27 de Outubro de 2021). *Civiconcepts*. Fonte: https://civiconcepts.com/blog/spt-test

CIVILSOLO. (15 de Janeiro de 2013). Fonte: Civilsolo Sondagens e Fundações Ltda.: https://www.civilsolo.com.br/

CLOUGH, R. W., & PENZIEN, J. (1975). *Dynamics of structures.* New York: McGraw-Hill.

CONMETRO. (1993). *Lei 8078-1990, Regulamentada pelo Decreto 861-1993, Seção IV, Artigo 39, Inciso VIII*. Brasil: CONMETRO.

COTANET. (22 de Outubro de 2021). Fonte: Cotanet Tudo em um só lugar: http://engenharia-construcao.cotanet.com.br/

DAS, B. M., & SOBHAN, K. (2012). *Principles of Geotechnical Engineering, Eighth Edition.* Stamford, EUA: Cengage Learning.

EBANATAW. (15 de Janeiro de 2023). Fonte: Roberto Massaru Watanabe: https://www.ebanataw.com.br/roberto/fundacoes/sapata1.htm

ELE. (03 de Dezembro de 2021). Fonte: ELE International: https://www.ele.com/

ESCOLAENGENHARIA. (01 de Outubro de 2021). Fonte: Escola Engenharia: https://www.escolaengenharia.com.br

FALCONI, F. (2019). *Fundações: teoria e prática - 3a Edição.* São Paulo: Oficina de Textos.

FDas, B. M. (2011). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica.* São Paulo: Cengage Learning.

FERNANDES, M. d. (1994). Mecânica dos Solos - Conceitos e princípios fundamentais, Vol I. São Paulo, SP, Brasil: FEUP.

FORTES, R., & MERIGHI, J. (2004). Controle Tecnológico e Controle de Qualidade – Um alerta sobre sua importância. Brasília, DF, Brasil: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE.

FUNDEX, F. e. (12 de Julho de 2021). Sondagem à Percussão Standard SPT/DCPT. *Relatório Sondagem SPT*. Águas Claras, DF, Brasil: Fundex.

GEOPROVA. (23 de Outubro de 2021). Fonte: Geoprova: https://www.geoprova.com.br/
GUDISHALA, R. (2004). Development of resilient modulus prediction models for base and subgrade pavement layers from in situ devices test results. *Thesis of Master of Science in Civil Engineering*. Baton Rouge, LA, Estados Unidos: Department of Civil and Environmental Engineering - Louisiana State University.
GUNARATNE, M. (2014). *Engineering Handbook.* New York: CRC Press.
HMP. (27 de Outubro de 2021). *HMP Magdeburger Prüfgerätebau GmbH*. Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=uWzgr-__f1g&t=431s
HNS, E. (2021). Apresentação dos Resultados de Ensaios de Prova de Carga. Brasília, DF, Brasil: HNS.
HUMBOLDT. (04 de Novembro de 2021). *Humboldt Construction Materials Testing Equipment*. Fonte: https://www.humboldtmfg.com/manuals/H-4140_man_GeoGauge.pdf
IFSC. (29 de Outubro de 2021). Fonte: Docente - Instituto Federal de Santa Catarina: http://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura_solo/textura.html
KATINSKY, J. R. (1994). Sistemas Construtivos Coloniais. *História da Técnica e da Tecnologia no Brasil*. São Paulo, SP, Brasil: UNESP - CETESP.
LUKIANTCHUKI, J. A. (27 de Julho de 2012). Interpretação de Resultados do Ensaio SPT com Base em Instrumentação Dinâmica. São Carlos, SP, Brasil: EESC/USP.
MAIA, C. L., SILVA, C. A., & BARROSO, S. H. (9 a 13 de Novembro de 2015). Análise Comparativa de Parâmetros de Deformabilidade em Camadas Granulares - Testes in situ e Ensaios de Laboratório. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*. Ouro Preto, MG, Brasil: ANPET.
MARQUES, G. L. (2006). Notas de Aula da Disciplina Pavimentação. Juiz de Fora, MG, Brasil: Universidade Federal de Juiz de Fora.
MORAES, M. d. (1976). *Estruturas de Fundações.* São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.
MTb, M. d. (08 de 06 de 1978). NR 15. *Atividades e Operações Insalubres*. Brasília, DF, Brasil: Portaria MTb No 3.214.
MTb, M. d. (08 de 06 de 1978). NR 18. *Obras de Construção, Demolição e Reparos*. Brasília, DF, Brasil: Portaria MTb No 3.214.
MT-DNER. (1994). DNER-ME 162/94. *Solos - ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas*. Brasília, DF, Brasil: DNER.
MT-DNIT. (2016). NORMA DNIT 172/2016 - ME. *Solos-Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas - Método de ensaio*. Brasília, DF, Brasil: DNIT.
PAULOOTAVIO. (14 de Janeiro de 2023). Fonte: Paulo Otavio Investimentos Imobiliários Ltda.: https://www.paulooctavio.com.br/empreendimento-1029-detalhes-Manhattan-Shopping-
PELACANI, V. L. (2010). Responsabilidade na Construção Civil. *Cadernos do CREA-PR*. Curitiba, PR, Brasil: CREA-PR.
REFORSOLO, E. G. (29 de Maio de 2021). Laudo de Sondagem SPT 02. Águas Claras, DF, Brasil.
RELIANCE. (03 de Novembro de 2021). *Reliance*. Fonte: https://www.reliancelab.co.za/dynamic-cone-penetrometer-dcp/
RIBEIRO, S. P. (Julho de 2008). Terraplanagem. Metodologia e Técnicas de Compactação. *Dissertação de Mestrado*. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
SALVADORI, M. (2006). *Por que os Edifícios Ficam de Pé: a força da arquitetura.* São Paulo: Martins Fontes.

SCHNAID, F., & ODEBRECHT, E. (01 de 01 de 2012). Ensaios De Campo E Suas Aplicações À Engenharia De Fundações. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos.

SILVA, L. S. (2021). Resultados de Ensaio de Prova de Carga. Brasília, DF, Brasil.

SMANIOTTO, M. B. (2018). *Investigações Geológico-Geotécnicas Diretas por meio de Sondagem Mista - Rodovia ERS 020 – Km 82.* Chapecó, SC: SONDAOESTE, Sondagens e Geologia - Ltda.

SOUTHERNTESTING. (03 de Dezembro de 2021). Fonte: Southern Testing Environmental & Geotechnical: https://www.southerntesting.co.uk/

STRINGFIXER. (23 de Outubro de 2021). Fonte: Stringfixer: https://stringfixer.com/pt/History_of_California%27s_state_highway_system

SUBSURFACE. (03 de Dezembro de 2021). Fonte: Sub Surface Site - Investigations Specialists, Geotechnical & Environmental Consultants: https://www.subsurface.co.uk/

SUPERA, E. L. (2023). Planta de Situação. Águas Claras, DF, Brasil: SUPERA.

TERRATEST. (03 de Novembro de 2021). *Light Weight Deflectometer*. Fonte: https://light-weight-deflectometer.com/

THOMAZ, E. C. (30 de Outubro de 2021). As Contribuições do Professor Fernando Lobo Carneiro. *Ensaio de Compressão Diametral (Brazilian Test)*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Instituto Militar de Engenharia - Nota de Aula do Professor.

USDA. (29 de Outubro de 2021). Fonte: Textural Soil Classification and Particle Size: www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator

USDA, U. S. (s.d.). Textural Soil Classification and Particle Size. *Textural Soil Classification and Particle Size*. Washington, DC, EUA.

VARGAS, M. (2002). História da Engenharia de Fundações no Brasil - Capítulo 1B. *Fundações: Teoria e Prática - 1a Edição*. São Paulo, SP, Brasil: PINI, SP.ABMS / ABEF, 33 p.

VLEX. (11 de Outubro de 2022). *VLEX - Informação jurídica inteligente*. Fonte: VLEX BRASIL - Informação jurídica inteligente: https://vlex.com.br/vid/verificacao-atendimento-as-normas-739810953

WIKEPÉDIA. (28 de Outubro de 2021). *Matacão ou Penedo*. Fonte: Wkipédia a enciclopédia livre: https://pt.wikipedia.org/wiki/Matac%C3%A3o

WIKIPÉDIA. (08 de Novembro de 2021). *Odair Grillo*. Fonte: Wikipédia - A enciclopédia livre: https://pt.wikipedia.org/wiki/Odair_Grillo

10. ANEXOS

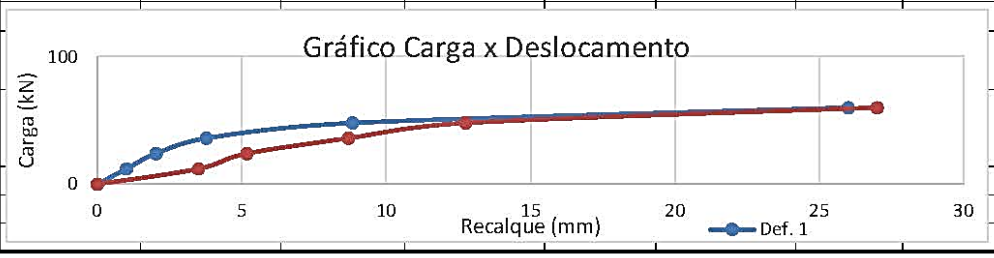
FEIRA CENTRAL SANTA MARIA – PONTO 1

Planilha de Cálculos Ensaio de Placa Ponto 1

Curva Carga x Recalque				
Furo1 (Centro da feira)				
	Leitura	Deslocamento mm - LVDT 1	Def. 1	Def. 2
Def. 1	2	0	0	
	3,01	1,01	12	
	4,04	2,04	24	
	5,78	3,78	36	
	10,84	8,84	48	
	28	26	60	
Final 12h	2	0		
Final	0			
	LVDT 2			
Def. 2	2	0		0
	5,5	3,5		12
	7,17	5,17		24
	10,7	8,7		36
	14,75	12,75		48
	29	27		60
Final 12h	2	0		
Final	0			

Tempo	Inicial	Leitura 1min	Dif(%)	Leitura 2min	Dif(%)	Leitura 4min	Dif(%)	Leitura 8min	Dif(%)
Leituras	3,0	3,01	1,0		150,5		0,0		0,0
Diferença (%)	3,7	3,77	6,6	3,81	5,0	3,9	10,1	4,02	11,9
	5,3	5,43	12,9	5,54	7,3	5,68	8,5	5,78	5,7
	9,1	9,92	19,8	10,27	7,8	10,59	6,7	10,84	4,9
			0,0		0,0		0,0		0,0
			0,0		0,0		0,0		0,0

Tempo	Inicial	Leitura 1min		Leitura 2min		Leitura 4min		Leitura 8min	
Leituras	5,5	5,5	0,0		275,0		0,0		0,0
Diferença (%)	6,93	7,07	8,9	7,09	1,3	7,16	4,2	7,17	0,6
	9,23	9,44	9,3	9,52	3,4	9,61	3,7	10,7	30,9
	13,38	13,9	16,3	14,37	12,8	14,55	4,7	14,75	4,9
			0,0		0,0		0,0		0,0
			0		0		0		0,0



Leitura 16min	Dif(%)	Leitura 32min	Dif(%)	Leitura 64min	Dif(%)	Leitura 128min
	0,0		0,0		0,0	
4,04	1,9		134,2		0,0	
5,78	0,0		143,1		0,0	
	187,5		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
Leitura 16min		Leitura 32min		Leitura 64min		Leitura 128min
	0,0		0,0		0,0	
7,17	0,0		130,4		0,0	
10,7	0,0		149,2		0,0	
	137,9		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	

Dados Ensaios Protótipo – 05 Ensaios Santa Maria Ponto 1

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 71,4	COTA FINAL LVDT: 59,4	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 68,0	COTA FINAL LVDT: 52,5	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 68,2	COTA FINAL LVDT: 54,5	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 66,1	COTA FINAL LVDT: 57,2	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 64,5	COTA FINAL LVDT: 50,9
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			12,0mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			15,5mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,7mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			8,9mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,5mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y
1.253	71,4	0,0	0,01	1.144	68,0	0,0	0,01	1.280	68,2	0,0	0,01	1.363	66,1	0,0	0,01	1.662	64,5	0,0	0,02
1.011	71,4	0,0	0,01	1.037	68,0	0,0	0,01	1.215	68,2	0,0	0,01	1.270	66,1	0,0	0,01	1.301	64,4	0,0	0,01
1.372	71,3	0,0	0,01	1.379	68,0	0,0	0,01	1.253	68,2	0,0	0,01	1.380	66,1	0,0	0,01	1.719	64,4	0,0	0,02
1.505	71,3	0,1	0,01	1.383	67,9	0,0	0,01	1.337	68,2	0,0	0,01	1.428	66,1	0,0	0,01	1.834	64,4	0,1	0,02
1.570	71,3	0,1	0,02	1.371	67,9	0,1	0,01	1.440	68,1	0,1	0,01	1.616	66,1	0,0	0,02	2.446	64,3	0,1	0,02
1.627	71,3	0,1	0,02	1.475	67,9	0,1	0,01	1.597	68,1	0,1	0,02	1.942	66,0	0,1	0,02	2.913	64,3	0,2	0,03
1.700	71,2	0,1	0,02	1.462	67,8	0,1	0,01	1.650	68,1	0,1	0,02	2.446	66,0	0,1	0,02	3.261	64,2	0,2	0,03
1.850	71,2	0,2	0,02	1.582	67,8	0,2	0,02	2.021	68,0	0,2	0,02	2.721	66,0	0,1	0,03	3.710	64,1	0,3	0,04
2.084	71,1	0,2	0,02	1.880	67,8	0,2	0,02	1.897	67,9	0,2	0,02	3.169	66,0	0,1	0,03	3.994	64,2	0,3	0,04
2.236	71,1	0,2	0,02	1.825	67,7	0,2	0,02	2.358	67,9	0,3	0,02	3.587	65,9	0,2	0,04	4.711	64,1	0,3	0,05
2.481	71,1	0,3	0,02	2.105	67,7	0,3	0,02	2.728	67,9	0,3	0,03	4.060	65,8	0,3	0,04	5.073	64,1	0,3	0,05
2.727	71,0	0,3	0,03	2.044	67,6	0,3	0,02	2.978	67,9	0,3	0,03	4.641	65,8	0,3	0,05	5.886	64,1	0,3	0,06
2.936	71,0	0,4	0,03	2.287	67,6	0,4	0,02	3.182	67,8	0,4	0,03	5.129	65,8	0,3	0,05	6.188	64,1	0,3	0,06
3.158	70,9	0,4	0,03	2.203	67,6	0,4	0,02	3.382	67,7	0,5	0,03	5.741	65,7	0,3	0,06	6.705	64,1	0,3	0,07
3.426	70,9	0,4	0,03	2.415	67,5	0,5	0,02	3.700	67,7	0,5	0,04	6.322	65,7	0,4	0,06	6.919	64,1	0,3	0,07
3.642	70,9	0,5	0,04	2.723	67,5	0,5	0,03	4.012	67,7	0,5	0,04	6.993	65,7	0,4	0,07	7.638	64,1	0,3	0,07
3.864	70,8	0,5	0,04	2.602	67,5	0,5	0,03	4.354	67,7	0,5	0,04	7.729	65,6	0,5	0,08	8.097	64,1	0,3	0,08
4.212	70,8	0,6	0,04	2.951	67,4	0,6	0,03	4.511	67,6	0,6	0,04	8.383	65,6	0,5	0,08	8.675	64,1	0,3	0,09
4.418	70,7	0,6	0,04	3.098	67,4	0,6	0,03	5.055	67,5	0,7	0,05	9.201	65,6	0,5	0,09	9.294	64,0	0,4	0,09
4.730	70,7	0,7	0,05	3.184	67,3	0,6	0,03	5.446	67,5	0,7	0,05	9.918	65,5	0,6	0,10	9.741	64,0	0,5	0,10
4.966	70,7	0,7	0,05	3.343	67,3	0,7	0,03	5.785	67,5	0,7	0,06	10.630	65,5	0,6	0,10	10.037	64,0	0,5	0,10
5.218	70,6	0,7	0,05	3.316	67,3	0,7	0,03	6.213	67,5	0,7	0,06	11.421	65,4	0,6	0,11	10.260	63,9	0,5	0,10
5.458	70,6	0,8	0,05	3.655	67,2	0,8	0,04	6.681	67,4	0,8	0,07	12.172	65,4	0,7	0,12	11.329	63,9	0,6	0,11
5.699	70,5	0,8	0,06	3.500	67,2	0,8	0,03	7.107	67,4	0,8	0,07	12.924	65,3	0,8	0,13	11.870	63,8	0,6	0,12
5.926	70,5	0,9	0,06	3.943	67,1	0,8	0,04	7.523	67,3	0,9	0,07	13.649	65,3	0,8	0,13	12.496	63,8	0,6	0,12
6.183	70,5	0,9	0,06	3.843	67,1	0,9	0,04	8.148	67,3	0,9	0,08	14.365	65,3	0,8	0,14	12.840	63,8	0,7	0,13
6.431	70,4	1,0	0,06	4.030	67,1	0,9	0,04	8.329	67,3	0,9	0,08	15.112	65,3	0,8	0,15	13.559	63,7	0,7	0,13
6.649	70,4	1,0	0,07	4.261	67,0	0,9	0,04	8.930	67,3	0,9	0,09	15.793	65,3	0,8	0,15	13.799	63,7	0,8	0,14
6.938	70,4	1,0	0,07	4.276	67,0	1,0	0,04	9.781	67,2	1,0	0,10	16.555	65,3	0,8	0,16	14.480	63,6	0,8	0,14
7.229	70,3	1,1	0,07	4.576	67,0	1,0	0,04	10.337	67,2	1,0	0,10	17.313	65,3	0,8	0,17	14.836	63,6	0,9	0,15
7.499	70,2	1,1	0,07	4.625	66,9	1,1	0,05	10.953	67,1	1,0	0,11	18.026	65,3	0,8	0,18	15.006	63,6	0,9	0,15
7.760	70,2	1,2	0,08	4.777	66,9	1,1	0,05	11.512	67,1	1,1	0,11	18.801	65,3	0,8	0,18	15.650	63,6	0,9	0,15
8.012	70,2	1,2	0,08	4.849	66,8	1,1	0,05	12.243	67,1	1,1	0,12	19.457	65,2	0,9	0,19	15.752	63,5	0,9	0,15
8.318	70,1	1,3	0,08	5.057	66,8	1,2	0,05	12.900	67,0	1,2	0,13	20.143	65,2	0,9	0,20	16.384	63,5	1,0	0,16
8.583	70,1	1,3	0,08	5.181	66,8	1,2	0,05	13.530	67,0	1,2	0,13	20.663	65,2	0,9	0,20	16.793	63,5	1,0	0,16
8.783	70,0	1,4	0,09	5.369	66,7	1,3	0,05	13.266	67,0	1,2	0,13	21.217	65,1	1,0	0,21	17.156	63,4	1,0	0,17
9.098	69,9	1,4	0,09	5.817	66,7	1,3	0,06	14.395	67,0	1,2	0,14	21.954	65,1	1,0	0,22	17.287	63,4	1,1	0,17
9.380	69,9	1,5	0,09	6.086	66,6	1,4	0,06	14.980	66,9	1,3	0,15	22.750	65,1	1,0	0,22	17.326	63,3	1,1	0,17
9.614	69,7	1,6	0,09	6.214	66,6	1,4	0,06	15.889	66,9	1,3	0,16	23.348	65,0	1,1	0,23	18.012	63,3	1,2	0,18
9.915	69,7	1,7	0,10	6.258	66,6	1,4	0,06	16.380	66,9	1,3	0,16	24.003	65,0	1,1	0,24	18.312	63,3	1,2	0,18
10.261	69,6	1,8	0,10	6.403	66,6	1,4	0,06	16.778	66,9	1,3	0,16	24.734	65,0	1,1	0,24	18.465	63,2	1,2	0,18
10.494	69,5	1,9	0,10	6.722	66,5	1,5	0,07	17.523	66,8	1,4	0,17	25.356	64,9	1,2	0,25	19.188	63,2	1,2	0,19
10.853	69,4	2,0	0,11	6.992	66,5	1,5	0,07	17.914	66,8	1,4	0,17	26.019	64,9	1,2	0,26	19.488	63,2	1,3	0,19
11.165	69,3	2,1	0,11	7.106	66,5	1,5	0,07	18.462	66,8	1,4	0,18	26.615	64,9	1,2	0,26	19.600	63,2	1,3	0,19
11.503	69,3	2,1	0,11	7.458	66,4	1,6	0,07	19.082	66,7	1,5	0,19	27.384	64,8	1,3	0,27	19.568	63,1	1,3	0,19
11.854	69,3	2,1	0,12	7.905	66,4	1,6	0,08	19.640	66,7	1,5	0,19	28.027	64,8	1,3	0,27	20.136	63,1	1,4	0,20
12.139	69,2	2,1	0,12	7.988	66,3	1,7	0,08	20.000	66,6	1,6	0,20	28.606	64,8	1,3	0,28	20.151	63,0	1,4	0,20
12.394	69,2	2,1	0,12	8.237	66,3	1,7	0,08	20.449	66,6	1,6	0,20	29.338	64,7	1,4	0,29	20.613	63,0	1,4	0,20
12.752	69,2	2,1	0,13	8.421	66,2	1,7	0,08	20.963	66,6	1,6	0,21	29.776	64,7	1,4	0,29	20.429	62,9	1,5	0,20
13.153	69,2	2,1	0,13	8.893	66,2	1,8	0,09	21.333	66,6	1,6	0,21	30.474	64,7	1,4	0,30	20.762	62,9	1,5	0,20
13.203	69,2	2,1	0,13	9.086	66,1	1,8	0,09	21.867	66,6	1,6	0,21	30.876	64,6	1,5	0,30	21.046	62,8	1,6	0,21
13.706	69,2	2,1	0,13	9.496	66,1	1,9	0,09	22.322	66,5	1,7	0,22	31.459	64,6	1,5	0,31	21.343	62,8	1,6	0,21
14.257	69,2	2,1	0,14	9.648	66,1	1,9	0,09	22.852	66,5	1,7	0,22	32.095	64,5	1,6	0,31	21.037	62,8	1,6	0,21
14.336	69,2	2,1	0,14	9.873	66,1	1,9	0,10	23.468	66,5	1,7	0,23	32.542	64,5	1,6	0,32	22.153	62,8	1,7	0,22
14.746	69,3	2,1	0,14	10.108	66,0	1,9	0,10	23.925	66,5	1,7	0,23	33.054	64,4	1,7	0,32	21.890	62,7	1,7	0,21
15.150	69,2	2,1	0,15	10.631	66,0	2,0	0,10	24.355	66,4	1,8	0,24	33.469	64,4	1,7	0,33	21.463	62,7	1,8	0,21
15.404	69,2	2,1	0,15	10.636	66,0	2,0	0,10	24.834	66,4	1,8	0,24	33.994	64,3	1,8	0,33	21.791	62,7	1,8	0,21
15.723	69,3	2,1	0,15	10.912	66,0	2,0	0,11	25.360	66,3	1,9	0,25	34.478	64,3	1,8	0,34	22.908	62,6	1,8	0,22
15.931	69,2	2,1	0,16	11.813	65,9	2,1	0,12	25.711	66,3	1,9	0,25	34.829	64,2	1,9	0,34	21.794	62,6	1,9	0,21
16.354	69,2	2,1	0,16	11.523	65,9	2,1	0,11	26.002	66,2	2,0	0,26	35.198	64,2	1,9	0,35	22.898	62,5	1,9	0,22
16.548	69,2	2,1	0,16	12.062	65,8	2,2	0,12	26.079	66,2	2,0	0,26	35.663	64,1	2,0	0,35	22.773	62,5	2,0	0,22
17.021	69,2	2,1	0,17	12.563	65,8	2,2	0,12	26.526	66,2	2,0	0,26	35.993	64,1	2,0	0,35	23.238	62,4	2,0	0,23
17.272	69,2	2,1	0,17	12.629	65,8	2,2	0,12	27.103	66,1	2,1	0,27	36.383	64,1	2,0	0,36	22.720	62,4	2,1	0,22
17.503	69,3	2,1	0,17	12.843	65,7	2,3	0,13	27.591	66,1	2,1	0,27	36.799	64,1	2,0	0,36	23.263	62,3	2,1	0,23
17.798	69,3	2,1	0,17	13.099	65,7	2,3	0,13	28.450	66,0	2,2	0,28	37.116	64,1	2,0	0,36	22.676	62,3	2,2	0,22
18.166	69,2	2,1	0,18	13.569	65,6	2,3	0,13	26.768	66,0	2,2	0,26	37.437	64,1	2,0	0,37	23.824	62,2	2,2	0,23
18.432	69,2	2,1	0,18	13.693	65,6	2,3	0,13	28.952	66,0	2,2	0,28	3.767	64,1	2,0	0,04	24.251	62,2	2,3	0,24
18.770	69,2	2,1	0,18	14.008	65,6	2,4	0,14	28.720	66,0	2,2	0,28	38.183	64,1	2,0	0,37	23.829	62,1	2,4	0,23
19.091	69,2	2,1	0,19	14.584	65,5	2,5	0,14	29.310	66,0	2,2	0,29	38.554	64,1	2,0	0,38	24.190	62,0	2,5	0,24
19.344	69,2	2,1	0,19	14.656	65,5	2,5	0,14	29.442	65,9	2,3	0,29	38.757	64,0	2,0	0,38	25.077	62,0	2,5	0,25
19.731	69,2	2,1	0,19	15.190	65,4	2,6	0,15	29.827	65,9	2,3	0,29	39.191	63,9	2,2	0,38	24.197	62,0	2,5	0,24
19.996	69,2	2,1	0,20	15.423	65,3	2,6	0,15	30.119	65,8	2,4	0,30	39.457	63,9	2,2	0,39	24.856	61,9	2,5	0,24
20.311	69,2	2,1	0,20	16.025	65,3	2,7	0,16	30.495	65,8	2,4	0,30	39.810	63,8	2,2	0,39	25.104	61,9	2,5	0,25
20.622	69,2	2,1	0,20	16.126	65,3	2,7	0,16	30.789	65,8	2,4	0,30	40.125	63,8	2,3	0,39	25.027	62,0	2,5	0,25
20.944	69,2	2,1	0,21	16.307	65,3	2,7	0,16	31.148	65,7	2,5	0,31	40.450	63,8	2,3	0,40	25.171	61,9	2,5	0,25
21.245	69,2	2,2	0,21	16.810	65,3	2,7	0,16	31.317	65,7	2,5	0,31	40.708	63,7	2,4	0,40	25.959	61,9	2,5	0,25
21.577	69,2	2,1	0,21	16.876	65,3	2,7	0,17	31.471	65,6	2,6	0,31	41.075	63,7	2,4	0,40	25.837	61,9	2,5	0,25
21.840	69,2	2,1	0,21	17.296	65,3	2,7	0,17	32.214	65,6	2,6	0,32	41.218	63,6	2,5	0,40	26.208	61,9	2,5	0,26
22.248	69,2	2,2	0,22	17.526	65,3	2,7	0,17	32.424	65,5	2,7	0,32	41.645	63,6	2,5	0,41	26.137	61,9	2,5	0,26
22.546	69,2	2,2	0,22	18.047	65,2	2,8	0,18	32.529	65,5	2,7	0,32	41.853	63,6	2,5	0,41	26.499	61,9	2,5	0,26
22.803	69,2	2,2	0,22	18.193	65,2	2,8	0,18	32.729	65,4	2,8	0,32	42.627	63,5	2,6	0,42	26.679	61,9	2,5	0,26
23.122	69,2	2,2	0,23	18.573	65,1	2,9	0,18	33.123	65,4	2,8	0,32	42.851	63,5	2,6	0,42	26.657	61,9	2,5	0,26
23.467	69,2	2,2	0,23	18.908	65,1	2,9	0,19	33.463	65,3	2,9	0,33	42.425	63,4	2,7	0,42	27.055	61,9	2,5	0,27
23.684	69,2	2,2	0,23	19.170	65,0	3,0	0,19	33.583	65,3	2,9	0,33	43.079	63,4	2,7	0,42	27.061	61,9	2,6	0,27
24.030	69,2	2,2	0,24	19.301	65,0	3,0	0,19	33.971	65,3	2,9	0,33	43.282	63,4	2,7	0,42	27.422	61,8	2,7	0,27
24.313	69,0	2,3	0,24	19.849	64,9	3,0	0,19	34.210	65,3	2,9	0,34	43.576	63,3	2,8	0,43	27.261	61,7	2,7	0,27
24.644	69,0	2,3	0,24	19.785	64,9	3,1	0,19	34.311	65,3	2,9	0,34	43.770	63,2	2,9	0,43	27.525	61,6	2,8	0,27
24.958	68,9	2,5	0,24	20.165	64,9	3,1	0,20	34.886	65,3	2,9	0,34	44.060	63,2	2,9	0,43	27.741	61,6	2,9	0,27
25.357	68,8	2,6	0,25	20.788	64,8	3,1	0,20	34.905	65,3	2,9	0,34	44.471	63,2	2,9	0,44	28.079	61,5	2,9	0,28
25.617	68,7	2,6	0,25	20.976	64,8	3,2	0,21	35.076	65,2	3,0	0,34	44.605	63,2	2,9	0,44	27.941	61,5	3,0	0,27
26.005	68,6	2,7	0,26	20.947	64,8	3,2	0,21	35.376	65,1	3,1	0,35	44.897	63,2	2,9	0,44	28.081	61,5	3,0	0,28
26.219	68,6	2,8	0,26	21.749	64,8	3,2	0,21	35.763	65,1	3,1	0,35	45.151	63,2	2,9	0,44	28.811	61,4	3,0	0,28
26.533	68,5	2,9	0,26	21.714	64,7	3,3	0,21	35.705	65,1	3,1	0,35	45.376	63,1	3,0	0,45	28.322	61,4	3,1	0,28
26.791	68,4	2,9	0,26	22.177	64,7	3,3	0,22	36.209	65,0	3,2	0,36	45.659	63,0	3,1	0,45	28.999	61,3	3,2	0,28
27.161	68,4	3,0	0,27	22.738	64,6	3,4	0,22	34.680	64,9	3,2	0,34	46.014	63,0	3,1	0,45	29.067	61,3	3,2	0,29
27.456	68,3	3,0	0,27	2.286	64,6	3,4	0,02	36.198	64,9	3,3	0,35	46.186	63,0	3,1	0,45	28.567	61,2	3,2	0,28
27.846	68,3	3,1	0,27	22.977	64,5	3,5	0,23	38.072	64,9	3,3	0,37	46.319	62,9	3,2	0,45	29.720	61,2	3,3	0,29
28.091	68,2	3,1	0,28	23.770	64,5	3,5	0,23	36.870	64,8	3,4	0,36	46.642	62,9	3,2	0,46	28.881	61,1	3,3	0,28
28.353	68,2	3,2	0,28	23.886	64,4	3,6	0,23	37.584	64,8	3,4	0,37	46.918	62,9	3,2	0,46	29.303	61,1	3,4	0,29
28.729	68,1	3,2	0,28	23.987	64,4	3,6	0,24	37.699	64,8	3,4	0,37	47.150	62,8	3,3	0,46	29.920	61,1	3,4	0,29
29.052	68,1	3,3	0,28	24.138	64,4	3,6	0,24	37.367	64,7	3,5	0,37	47.411	62,8	3,3	0,46	29.716	61,0	3,4	0,29
29.297	68,0	3,3	0,29	24.654	64,3	3,7	0,24	37.831	64,7	3,5	0,37	47.605	62,7	3,4	0,47	29.740	61,0	3,5	0,29
29.670	68,0	3,4	0,29	25.153	64,2	3,8	0,25	37.748	64,7	3,5	0,37	47.939	62,7	3,4	0,47	29.964	60,9	3,5	0,29
29.953	68,0	3,4	0,29	25.484	64,2	3,8	0,25	38.173	64,6	3,6	0,37	48.064	62,7	3,4	0,47	30.340	60,9	3,6	0,30
30.270	67,9	3,4	0,30	25.642	64,2	3,8	0,25	38.618	64,6	3,6	0,38	48.308	62,6	3,5	0,47	30.098	60,8	3,6	0,30
30.550	67,9	3,5	0,30	25.728	64,1	3,9	0,25	38.679	64,5	3,7	0,38	48.557	62,6	3,5	0,48	30.247	60,8	3,7	0,30
30.767	67,8	3,5	0,30	26.426	64,1	3,9	0,26	38.697	64,5	3,7	0,38	48.775	62,5	3,6	0,48	30.352	60,7	3,7	0,30
31.238	67,8	3,6	0,31	26.467	64,1	3,9	0,26	39.159	64,4	3,8	0,38	48.993	62,5	3,6	0,48	30.285	60,7	3,7	0,30
31.608	67,7	3,6	0,31	26.388	64,1	3,9	0,26	34.465	64,4	3,8	0,34	49.257	62,4	3,7	0,48	31.016	60,7	3,7	0,30
31.894	67,7	3,7	0,31	27.112	64,1	3,9	0,27	39.701	64,3	3,9	0,39	49.323	62,4	3,7	0,48	30.887	60,7	3,8	0,30
32.120	67,7	3,7	0,32	27.512	64,1	3,9	0,27	39.655	64,2	4,0	0,39	49.542	62,3	3,8	0,49	31.408	60,6	3,8	0,31
32.344	67,6	3,7	0,32	27.223	64,1	3,9	0,27	39.732	64,2	4,0	0,39	49.821	62,3	3,8	0,49	30.931	60,6	3,8	0,30
32.782	67,6	3,8	0,32	27.699	64,1	3,9	0,27	40.422	64,1	4,1	0,40	49.943	62,2	3,9	0,49	30.944	60,6	3,9	0,30
32.591	67,5	3,8	0,32	28.453	64,1	3,9	0,28	40.392	64,1	4,1	0,40	50.137	62,1	3,9	0,49	31.235	60,5	3,9	0,31
33.383	67,5	3,9	0,33	28.511	63,9	4,1	0,28	40.186	64,1	4,1	0,39	50.400	62,0	4,1	0,49	31.621	60,5	4,0	0,31
33.692	67,5	3,9	0,33	28.788	64,0	4,0	0,28	40.581	64,1	4,1	0,40	50.589	62,0	4,1	0,50	31.531	60,4	4,0	0,31
33.725	67,4	3,9	0,33	29.075	63,9	4,1	0,29	40.997	64,1	4,1	0,40	50.826	62,0	4,1	0,50	32.080	60,4	4,1	0,31
33.845	67,4	4,0	0,33	28.770	63,8	4,2	0,28	41.163	64,1	4,1	0,40	51.061	62,0	4,1	0,50	32.002	60,3	4,1	0,31
34.697	67,4	4,0	0,34	29.658	63,8	4,2	0,29	41.340	64,1	4,1	0,41	51.320	61,9	4,2	0,50	31.884	60,3	4,1	0,31
34.648	67,3	4,0	0,34	29.879	63,7	4,2	0,29	41.417	64,1	4,1	0,41	51.448	62,0	4,1	0,50	32.421	60,3	4,2	0,32
35.148	67,3	4,1	0,34	30.006	63,7	4,3	0,29	42.081	64,1	4,1	0,41	51.751	61,9	4,2	0,51	32.720	60,2	4,2	0,32
34.987	67,2	4,2	0,34	30.187	63,7	4,3	0,30	41.849	64,0	4,2	0,41	51.879	61,9	4,2	0,51	32.598	60,2	4,3	0,32

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Área: 7,07 cm2		71,4	59,4	Área: 7,07 cm2		68,0	52,5	Área: 7,07 cm2		68,2	54,5	Área: 7,07 cm2		66,1	57,2	Área: 7,07 cm2		64,5	50,9
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			12,0mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			15,5mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,7mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			8,9mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,5mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y
38.531	66,8	4,6	0,38	32.965	63,2	4,8	0,32	44.205	63,5	4,7	0,43	53.983	61,6	4,5	0,53	34.130	59,9	4,6	0,33
39.013	66,8	4,6	0,38	33.424	63,2	4,8	0,33	44.223	63,4	4,8	0,43	54.407	61,6	4,5	0,53	34.353	59,8	4,6	0,34
39.137	66,7	4,7	0,38	33.174	63,2	4,8	0,33	44.495	63,4	4,8	0,44	54.403	61,6	4,5	0,53	34.434	59,8	4,7	0,34
39.448	66,6	4,7	0,39	23.323	63,1	4,9	0,23	44.404	63,3	4,9	0,44	54.679	61,5	4,6	0,54	34.524	59,8	4,7	0,34
39.617	66,6	4,8	0,39	33.724	63,1	4,9	0,33	44.963	63,3	4,9	0,44	54.821	61,4	4,7	0,54	34.264	59,7	4,8	0,34
39.185	66,6	4,8	0,38	33.742	63,1	4,9	0,33	44.599	63,2	5,0	0,44	55.051	61,4	4,7	0,54	34.255	59,6	4,8	0,34
40.233	66,5	4,8	0,39	34.505	63,0	5,0	0,34	42.306	63,2	5,0	0,41	55.268	61,3	4,8	0,54	34.796	59,6	4,9	0,34
40.819	66,5	4,8	0,40	34.328	62,9	5,1	0,34	41.014	63,2	5,0	0,40	55.492	61,3	4,8	0,54	34.675	59,5	4,9	0,34
4.611	66,5	4,8	0,05	34.659	62,9	5,1	0,34	36.525	63,2	5,0	0,36	55.539	61,2	4,9	0,54	35.064	59,5	5,0	0,34
41.025	66,5	4,9	0,40	34.206	62,9	5,1	0,34	45.662	63,2	5,0	0,45	55.685	61,2	4,9	0,55	34.456	59,5	5,0	0,34
40.970	66,4	4,9	0,40	34.348	62,8	5,1	0,34	44.509	63,1	5,1	0,44	55.937	61,2	4,9	0,55	34.764	59,4	5,1	0,34
41.372	66,4	5,0	0,41	35.446	62,8	5,2	0,35	44.941	63,1	5,1	0,44	56.102	61,1	5,0	0,55	35.763	59,4	5,1	0,35
40.963	66,3	5,0	0,40	35.532	62,8	5,2	0,35	46.165	63,1	5,1	0,45	56.326	61,1	5,0	0,55	35.459	59,3	5,1	0,35
41.959	66,3	5,1	0,41	35.049	62,7	5,3	0,34	46.028	63,0	5,2	0,45	56.529	61,0	5,0	0,55	35.806	59,3	5,2	0,35
41.264	66,3	5,1	0,40	35.530	62,7	5,3	0,35	45.730	63,0	5,2	0,45	56.685	61,0	5,1	0,56	35.691	59,2	5,2	0,35
42.444	66,2	5,2	0,42	35.597	62,6	5,4	0,35	45.741	62,9	5,3	0,45	57.019	61,0	5,1	0,56	36.167	59,2	5,3	0,35
42.394	66,2	5,2	0,42	36.127	62,6	5,4	0,35	45.781	62,9	5,3	0,45	56.990	60,9	5,2	0,56	36.142	59,2	5,3	0,35
42.444	66,1	5,3	0,42	36.179	62,6	5,4	0,35	45.382	62,8	5,4	0,45	57.246	60,9	5,2	0,56	35.923	59,1	5,4	0,35
43.240	66,1	5,3	0,42	36.099	62,5	5,5	0,35	45.975	62,8	5,4	0,45	57.434	60,8	5,3	0,56	36.462	59,1	5,4	0,36
43.140	66,0	5,3	0,42	36.398	62,4	5,6	0,36	46.673	62,8	5,4	0,46	57.613	60,8	5,3	0,57	36.651	59,0	5,4	0,36
43.114	66,0	5,3	0,42	36.612	62,4	5,6	0,36	47.159	62,7	5,5	0,46	57.760	60,7	5,4	0,57	36.479	59,0	5,4	0,36
43.483	66,0	5,3	0,43	37.085	62,3	5,6	0,36	47.326	62,7	5,5	0,46	57.877	60,7	5,4	0,57	36.738	59,0	5,4	0,36
42.851	66,0	5,4	0,42	37.216	62,3	5,7	0,36	47.918	62,7	5,5	0,47	58.091	60,7	5,4	0,57	36.924	59,0	5,4	0,36
43.871	65,9	5,4	0,43	37.130	62,3	5,7	0,36	47.644	62,6	5,5	0,47	58.306	60,7	5,4	0,57	37.096	59,0	5,5	0,36
44.104	65,9	5,5	0,43	37.635	62,2	5,8	0,37	47.646	62,6	5,6	0,47	58.360	60,6	5,5	0,57	37.123	58,9	5,5	0,36
44.163	65,8	5,5	0,43	37.663	62,1	5,9	0,37	47.336	62,5	5,7	0,46	58.378	60,6	5,5	0,57	37.761	58,9	5,6	0,37
44.500	65,8	5,6	0,44	37.668	62,0	5,9	0,37	48.633	62,5	5,7	0,48	58.714	60,6	5,5	0,58	37.529	58,8	5,6	0,37
45.691	65,8	5,6	0,45	38.060	62,0	6,0	0,37	48.194	62,5	5,7	0,47	58.824	60,5	5,6	0,58	36.053	58,8	5,7	0,35
45.189	65,7	5,6	0,44	38.548	62,0	6,0	0,38	48.660	62,4	5,8	0,48	58.965	60,5	5,6	0,58	38.096	58,7	5,7	0,37
45.563	65,7	5,7	0,45	11.013	61,9	6,0	0,09	48.859	62,4	5,8	0,48	59.169	60,4	5,7	0,58	37.403	58,7	5,7	0,37
45.151	65,6	5,7	0,44	39.391	61,9	6,0	0,39	49.043	62,3	5,9	0,48	59.232	60,4	5,7	0,58	37.139	58,6	5,8	0,36
45.639	65,6	5,8	0,45	38.596	61,9	6,0	0,38	48.949	62,2	6,0	0,48	59.604	60,3	5,8	0,58	37.759	58,6	5,9	0,37
45.745	65,5	5,8	0,45	38.603	61,9	6,0	0,38	49.284	62,2	6,0	0,48	59.578	60,3	5,8	0,58	37.655	58,6	5,9	0,37
45.766	65,5	5,9	0,45	38.666	61,9	6,0	0,38	48.814	62,1	6,1	0,48	59.725	60,3	5,8	0,59	38.051	58,5	5,9	0,37
44.802	65,5	5,9	0,44	39.000	61,9	6,1	0,38	49.209	62,0	6,2	0,48	59.832	60,2	5,9	0,59	38.044	58,5	6,0	0,37
46.193	65,4	6,0	0,45	38.876	61,9	6,1	0,38	49.196	62,0	6,2	0,48	60.099	60,2	5,9	0,59	38.955	58,5	6,0	0,38
45.945	65,3	6,0	0,45	39.165	61,9	6,1	0,38	49.421	61,9	6,3	0,48	60.238	60,1	6,0	0,59	37.983	58,4	6,0	0,37
47.216	65,3	6,1	0,46	39.887	61,9	6,1	0,39	49.791	61,9	6,3	0,49	60.341	60,0	6,0	0,59	38.178	58,4	6,0	0,37
46.324	65,3	6,1	0,45	40.109	61,9	6,1	0,39	50.342	61,9	6,3	0,49	60.416	60,0	6,1	0,59	38.844	58,3	6,1	0,38
47.421	65,3	6,1	0,47	39.995	61,9	6,1	0,39	49.864	61,9	6,3	0,49	60.645	59,9	6,1	0,59	39.058	58,3	6,1	0,38
46.618	65,3	6,1	0,46	38.669	61,9	6,1	0,38	50.207	61,9	6,3	0,49	60.884	60,0	6,1	0,60	39.077	58,3	6,2	0,38
47.088	65,3	6,1	0,46	40.021	61,9	6,1	0,39	50.695	61,9	6,3	0,50	60.880	60,0	6,1	0,60	39.080	58,2	6,2	0,38
47.252	65,2	6,1	0,46	40.119	61,8	6,2	0,39	50.303	61,9	6,3	0,49	61.012	59,9	6,2	0,60	39.771	58,2	6,3	0,39
46.778	65,2	6,2	0,46	40.504	61,8	6,2	0,40	50.863	61,9	6,3	0,50	61.206	60,0	6,1	0,60	38.890	58,1	6,3	0,38
47.974	65,1	6,2	0,47	41.162	61,7	6,3	0,40	50.670	61,9	6,3	0,50	61.477	59,9	6,1	0,60	40.022	58,1	6,3	0,39
47.920	65,1	6,3	0,47	40.548	61,6	6,4	0,40	51.124	61,9	6,3	0,50	61.525	59,9	6,2	0,60	39.782	58,1	6,4	0,39
48.122	65,0	6,3	0,47	40.953	61,6	6,4	0,40	50.925	61,9	6,3	0,50	61.582	59,9	6,2	0,60	39.613	58,1	6,4	0,39
47.965	65,0	6,4	0,47	41.203	61,5	6,5	0,40	51.265	61,9	6,3	0,50	61.744	59,8	6,3	0,61	40.366	58,0	6,4	0,40
48.572	65,0	6,4	0,48	41.816	61,5	6,5	0,41	51.186	61,9	6,3	0,50	62.175	59,8	6,3	0,61	41.133	58,0	6,5	0,40
49.024	64,9	6,4	0,48	41.228	61,4	6,6	0,40	51.472	61,9	6,3	0,50	62.900	59,7	6,4	0,62	38.722	57,9	6,6	0,38
49.141	64,9	6,5	0,48	41.440	61,4	6,6	0,41	51.941	61,8	6,4	0,51	62.966	59,6	6,5	0,62	40.289	57,9	6,6	0,40
49.484	64,8	6,5	0,49	41.471	61,3	6,7	0,41	52.057	61,7	6,5	0,51	62.929	59,6	6,5	0,62	39.994	57,9	6,6	0,39
48.904	64,8	6,5	0,48	41.749	61,3	6,7	0,41	51.747	61,7	6,5	0,51	62.776	59,6	6,5	0,62	40.149	57,8	6,6	0,39
49.152	64,7	6,6	0,48	41.984	61,2	6,7	0,41	51.863	61,6	6,6	0,51	62.740	59,5	6,6	0,62	40.456	57,8	6,7	0,40
49.652	64,7	6,6	0,49	41.299	61,2	6,8	0,41	52.005	61,5	6,7	0,51	62.884	59,5	6,6	0,62	40.746	57,7	6,7	0,40
49.706	64,7	6,7	0,49	43.229	61,1	6,9	0,42	52.998	61,5	6,7	0,52	62.990	59,4	6,6	0,62	40.899	57,7	6,8	0,40
50.097	64,6	6,7	0,49	42.170	61,1	6,9	0,41	52.618	61,4	6,8	0,52	62.799	59,4	6,7	0,62	40.933	57,6	6,8	0,40
49.779	64,6	6,8	0,49	42.700	61,0	6,9	0,42	52.527	61,4	6,8	0,52	62.779	59,4	6,7	0,62	41.069	57,6	6,9	0,40
50.481	64,6	6,8	0,50	42.847	61,0	6,9	0,42	55.157	61,3	6,9	0,54	63.649	59,3	6,8	0,62	40.971	57,6	6,9	0,40
50.639	64,5	6,9	0,50	42.716	61,0	7,0	0,42	52.007	61,3	6,9	0,51	63.142	59,3	6,8	0,62	41.200	57,5	6,9	0,40
50.772	64,5	6,9	0,50	43.076	60,9	7,1	0,42	54.578	61,3	6,9	0,54	63.767	59,2	6,9	0,63	41.526	57,5	7,0	0,41
50.012	64,4	7,0	0,49	43.089	60,9	7,1	0,42	53.340	61,2	7,0	0,52	63.639	59,2	6,9	0,62	41.478	57,4	7,0	0,41
50.576	64,4	7,0	0,50	43.332	60,8	7,2	0,42	53.426	61,1	7,1	0,52	63.983	59,1	6,9	0,63	41.661	57,4	7,1	0,41
50.871	64,3	7,1	0,50	43.411	60,8	7,2	0,43	53.856	61,1	7,1	0,53	62.162	59,1	7,0	0,61	41.900	57,3	7,1	0,41
50.899	64,2	7,2	0,50	43.303	60,7	7,2	0,42	53.912	61,1	7,1	0,53	59.749	59,0	7,1	0,59	41.729	57,3	7,1	0,41
50.638	64,2	7,2	0,50	43.274	60,7	7,3	0,42	53.875	61,0	7,2	0,53	65.802	59,0	7,1	0,65	42.027	57,3	7,2	0,41
51.319	64,1	7,2	0,50	43.588	60,7	7,3	0,43	53.751	61,0	7,2	0,53	64.776	59,0	7,1	0,64	41.678	57,2	7,3	0,41
51.599	64,1	7,2	0,51	43.869	60,7	7,3	0,43	53.887	61,0	7,2	0,53	64.648	59,0	7,1	0,63	41.829	57,2	7,3	0,41
52.416	64,1	7,2	0,51	44.287	60,6	7,3	0,43	54.192	60,9	7,3	0,53	64.651	59,0	7,1	0,63	42.117	57,0	7,4	0,41
51.729	64,1	7,3	0,51	43.902	60,6	7,4	0,43	54.703	60,9	7,3	0,54	64.999	58,9	7,2	0,64	42.028	57,0	7,4	0,41
51.350	64,1	7,2	0,50	44.409	60,6	7,4	0,44	54.805	60,8	7,4	0,54	65.357	58,9	7,2	0,64	42.612	56,9	7,5	0,42
51.982	64,1	7,2	0,51	44.336	60,5	7,5	0,43	54.021	60,8	7,4	0,53	65.017	58,9	7,2	0,64	42.640	56,8	7,6	0,42
52.362	64,1	7,3	0,51	44.745	60,5	7,5	0,44	55.120	60,7	7,5	0,54	65.125	58,8	7,3	0,64	42.532	56,7	7,8	0,42
52.558	64,1	7,3	0,52	44.760	60,4	7,6	0,44	55.164	60,7	7,5	0,54	66.136	58,8	7,3	0,65	42.315	56,6	7,8	0,41
52.819	64,0	7,3	0,52	44.965	60,4	7,6	0,44	54.994	60,7	7,5	0,54	65.466	58,7	7,4	0,64	42.695	56,6	7,9	0,42
52.910	64,0	7,4	0,52	45.060	60,4	7,6	0,44	55.400	60,7	7,5	0,54	65.656	58,7	7,4	0,64	42.527	56,5	8,0	0,42
55.247	63,9	7,4	0,52	45.291	60,3	7,7	0,44	55.506	60,6	7,6	0,54	66.030	58,6	7,5	0,65	42.133	56,5	7,9	0,41
52.664	63,9	7,5	0,52	45.081	60,3	7,7	0,44	55.240	60,6	7,6	0,54	65.938	58,5	7,5	0,65	43.478	56,5	8,0	0,43
53.252	63,8	7,6	0,52	45.993	60,2	7,8	0,45	55.735	60,5	7,7	0,55	65.773	58,5	7,6	0,65	42.680	56,5	8,0	0,42
53.333	63,8	7,6	0,52	45.173	60,2	7,8	0,44	53.163	60,4	7,8	0,52	66.324	58,5	7,6	0,65	44.216	56,5	8,0	0,43
53.111	63,7	7,7	0,52	46.295	60,1	7,9	0,45	54.784	60,4	7,8	0,54	66.579	58,5	7,6	0,65	42.586	56,5	8,0	0,42
53.500	63,7	7,7	0,52	46.194	60,1	7,9	0,45	55.211	60,4	7,8	0,54	66.541	58,5	7,6	0,65	43.591	56,5	8,0	0,43
54.072	63,6	7,7	0,53	45.718	60,0	8,0	0,45	54.883	60,4	7,8	0,54	66.620	58,4	7,7	0,65	43.658	56,5	8,0	0,43
53.974	63,6	7,8	0,53	45.860	59,9	8,0	0,45	51.065	60,3	7,9	0,50	66.717	58,4	7,7	0,65	43.626	56,5	8,0	0,43
52.810	63,5	7,8	0,52	46.283	59,9	8,0	0,45	53.582	60,2	8,0	0,53	66.793	58,3	7,8	0,66	44.236	56,5	8,0	0,43
55.553	63,5	7,8	0,54	46.247	60,0	8,0	0,45	56.318	60,2	8,0	0,55	66.768	58,3	7,8	0,65	44.227	56,5	8,0	0,43
54.942	63,5	7,9	0,54	46.530	60,0	8,0	0,46	57.619	60,2	8,0	0,57	66.959	58,3	7,8	0,66	43.719	56,5	8,0	0,43
54.220	63,4	7,9	0,53	47.374	59,9	8,0	0,46	57.246	60,2	8,0	0,56	67.097	58,2	7,9	0,66	44.398	56,5	8,0	0,44
54.853	63,4	8,0	0,54	46.712	59,9	8,0	0,46	56.898	60,1	8,1	0,56	67.119	58,2	7,9	0,66	43.809	56,5	8,0	0,43
54.597	63,3	8,0	0,54	46.926	59,9	8,0	0,46	55.907	60,0	8,2	0,55	67.548	58,1	7,9	0,66	44.682	56,4	8,0	0,44
55.053	63,3	8,1	0,54	47.215	59,9	8,1	0,46	54.852	60,0	8,2	0,54	67.746	58,1	8,0	0,66	43.305	56,4	8,0	0,42
55.023	63,3	8,1	0,54	46.939	59,9	8,1	0,46	58.001	59,9	8,2	0,57	67.981	58,0	8,0	0,67	45.688	56,4	8,0	0,45
54.611	63,2	8,1	0,54	47.407	59,8	8,2	0,46	56.821	60,0	8,2	0,56	67.782	58,0	8,1	0,66	43.931	56,5	8,0	0,43
55.521	63,2	8,1	0,54	47.772	59,7	8,3	0,47	56.652	60,0	8,2	0,56	67.837	58,0	8,1	0,67	43.930	56,4	8,0	0,43
55.782	63,2	8,2	0,55	47.642	59,7	8,3	0,47	58.041	60,0	8,2	0,57	67.986	57,9	8,1	0,67	44.859	56,5	8,0	0,44
55.060	63,2	8,2	0,54	47.837	59,6	8,3	0,47	57.834	59,9	8,3	0,57	68.098	57,9	8,2	0,67	45.107	56,4	8,0	0,44
55.483	63,1	8,3	0,54	48.177	59,6	8,4	0,47	56.558	59,9	8,2	0,55	68.462	57,9	8,2	0,67	45.443	56,5	8,0	0,45
56.191	63,1	8,3	0,55	48.125	59,6	8,4	0,47	57.372	59,9	8,3	0,56	68.389	57,8	8,3	0,67	45.415	56,4	8,0	0,45
55.513	63,0	8,3	0,54	48.384	59,5	8,5	0,47	54.443	59,9	8,3	0,53	68.247	57,8	8,3	0,67	45.193	56,4	8,0	0,44
55.642	63,0	8,4	0,55	48.481	59,5	8,5	0,48	56.643	59,8	8,4	0,56	67.984	57,8	8,3	0,67	45.329	56,4	8,0	0,44
56.100	62,9	8,5	0,55	48.091	59,4	8,6	0,47	57.597	59,7	8,5	0,56	68.767	57,8	8,3	0,67	45.435	56,4	8,0	0,45
56.567	62,9	8,5	0,55	47.992	59,4	8,6	0,47	55.946	59,7	8,5	0,55	68.701	57,8	8,3	0,67	45.694	56,4	8,0	0,45
56.290	62,9	8,5	0,55	48.787	59,4	8,6	0,48	56.651	59,6	8,5	0,56	68.977	57,7	8,4	0,68	45.922	56,4	8,1	0,45
56.978	62,8	8,5	0,56	48.886	59,3	8,7	0,48	61.315	59,6	8,6	0,60	69.005	57,7	8,4	0,68	46.176	56,3	8,2	0,45
56.201	62,8	8,6	0,55	49.008	59,3	8,7	0,48	61.188	59,6	8,6	0,60	67.927	57,7	8,4	0,67	46.124	56,2	8,3	0,45
56.932	62,8	8,6	0,56	48.944	59,2	8,8	0,48	59.168	59,5	8,7	0,58	69.021	57,7	8,4	0,68	45.816	56,1	8,4	0,45
56.928	62,7	8,7	0,56	49.213	59,2	8,8	0,48	59.111	59,5	8,7	0,58	69.825	57,6	8,5	0,68	4.662	56,0	8,5	0,05
57.780	62,7	8,7	0,57	49.161	59,1	8,9	0,48	58.637	59,4	8,8	0,58	69.531	57,6	8,5	0,68	46.391	55,9	8,5	0,45
56.622	62,7	8,7	0,56	49.370	59,1	8,9	0,48	59.251	59,4	8,8	0,58	69.160	57,6	8,5	0,68	45.967	55,9	8,6	0,45
57.480	62,6	8,8	0,56	49.408	59,0	8,9	0,48	59.193	59,4	8,8	0,58	70.180	57,6	8,5	0,69	46.620	55,8	8,6	0,46
57.404	62,6	8,8	0,56	49.877	59,0	9,0	0,49	59.306	59,3	8,9	0,58	70.131	57,6	8,5	0,69	45.901	55,7	8,7	0,45
57.477	62,5	8,9	0,56	49.935	59,0	9,0	0,49	59.460	59,3	8,9	0,58	70.058	57,6	8,5	0,69	45.912	55,7	8,8	0,45
58.179	62,4	8,9	0,57	50.215	59,0	9,0	0,49	59.806	59,2	9,0	0,59	69.472	57,6	8,5	0,68	47.005	55,7	8,8	0,46
57.248	62,4	8,9	0,56	49.922	59,0	9,0	0,49	60.603	59,2	9,0	0,59	66.682	57,6	8,5	0,65	46.983	55,6	8,9	0,46
57.931	62,3	9,0	0,57	50.312	58,9	9,1	0,49	60.100	59,1	9,1	0,59	47.384	57,9	8,2	0,46	46.711	55,5	8,9	0,46
57.827	62,3	9,0	0,57	50.440	58,9	9,1	0,49	60.194	59,1	9,1	0,59	50.240	57,9	8,2	0,49	47.831	55,5	8,9	0,47
57.689	62,2	9,1	0,57	50.825	58,8	9,1	0,50	59.900	59,0	9,2	0,59	52.553	57,9	8,2	0,52	46.879	55,5	9,0	0,46
57.743	62,2	9,2	0,57	50.420	58,8	9,2	0,49	60.089	59,0	9,2	0,59	54.889	57,8	8,3	0,54	46.626	55,4	9,1	0,46
58.520	62,1	9,3	0,57	50.675	58,7	9,2	0,50	56.932	59,0	9,2	0,56	56.982	57,8	8,3	0,56	47.833	55,4	9,1	0,47
58.539	62,0	9,3	0,57	50.881	58,7	9,3	0,50	59.843	59,0	9,2	0,59	58.946	57,8	8,3	0,58	46.698	55,3	9,1	0,46
56.938	62,0	9,3	0,56	50.925	58,7	9,3	0,50	59.512	59,0	9,2	0,58	60.788	57,7	8,3	0,60	47.039	55,3	9,2	0,46
58.282	61,9	9,4	0,57	51.425	58,6	9,4	0,50	61.641	58,9	9,3	0,60	62.595	57,7	8,4	0,61	47.009	55,2	9,2	0,46
59.596	61,9	9

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Área: 7,07 cm2		71,4	59,4	Área: 7,07 cm2		68,0	52,5	Área: 7,07 cm2		68,2	54,5	Área: 7,07 cm2		66,1	57,2	Área: 7,07 cm2		64,5	50,9
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			12,0mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			15,5mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,7mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			8,9mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			13,5mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y
59,667	61,9	9,5	0,59	52,057	58,2	9,8	0,51	58,107	58,4	9,7	0,57	66,517	57,4	8,7	0,65	48,657	54,8	9,6	0,48
60,609	61,9	9,5	0,59	52,451	58,1	9,9	0,51	59,475	58,4	9,8	0,58	65,215	57,3	8,8	0,64	49,361	54,8	9,7	0,48
61,006	61,9	9,5	0,60	52,929	58,1	9,8	0,52	62,572	58,4	9,8	0,61	65,689	57,3	8,8	0,64	48,892	54,7	9,7	0,48
60,051	61,8	9,5	0,59	52,755	58,1	9,9	0,52	64,363	58,4	9,8	0,63	68,956	57,3	8,8	0,68	49,659	54,7	9,8	0,49
60,876	61,8	9,6	0,60	52,266	58,0	10,0	0,51	63,219	58,4	9,8	0,62	68,946	57,2	8,9	0,68	48,693	54,6	9,8	0,48
60,217	61,6	9,7	0,59	53,178	58,0	10,0	0,52	60,673	58,3	9,9	0,60	70,572	57,2	8,9	0,69	49,226	54,6	9,9	0,48
60,464	61,6	9,8	0,59	53,246	57,9	10,0	0,52	62,562	58,2	10,0	0,61	69,725	57,2	8,9	0,68	49,112	54,5	9,9	0,48
61,045	61,5	9,9	0,60	53,160	57,9	10,1	0,52	60,229	58,2	10,0	0,59	69,258	57,2	8,9	0,68	49,568	54,5	9,9	0,49
61,142	61,5	9,9	0,60	52,651	57,8	10,1	0,52	59,273	58,1	10,1	0,58	69,598	57,2	8,9	0,68	48,931	54,5	9,9	0,48
58,600	61,4	10,0	0,57	53,377	57,8	10,1	0,52	60,016	58,1	10,1	0,59					50,492	54,5	10,0	0,50
59,160	61,4	10,0	0,58	53,900	57,8	10,2	0,53	61,445	58,1	10,1	0,60					49,537	54,4	10,0	0,49
62,964	61,3	10,0	0,62	53,964	57,7	10,3	0,53	61,381	58,0	10,2	0,60					49,697	54,4	10,1	0,49
62,171	61,3	10,0	0,61	53,174	57,7	10,3	0,52	63,933	58,0	10,2	0,63					50,068	54,3	10,1	0,49
62,426	61,2	10,1	0,61	53,481	57,7	10,3	0,52	6,351	58,0	10,2	0,06					49,769	54,3	10,2	0,49
61,745	61,2	10,1	0,61	53,032	57,6	10,4	0,52	67,721	58,0	10,2	0,66					49,379	54,2	10,2	0,48
59,655	61,2	10,2	0,59	49,436	57,5	10,5	0,48	64,534	57,9	10,3	0,63					50,556	54,2	10,3	0,50
61,388	61,1	10,3	0,60	55,254	57,5	10,5	0,54	64,398	57,9	10,3	0,63					50,652	54,2	10,3	0,50
62,670	61,1	10,3	0,61	53,120	57,5	10,5	0,52	64,676	57,8	10,4	0,63					51,091	54,2	10,3	0,50
62,253	61,1	10,3	0,61	53,396	57,4	10,6	0,52	64,361	57,8	10,4	0,63					50,877	54,2	10,3	0,50
59,760	61,0	10,4	0,59	54,304	57,4	10,6	0,53	64,245	57,7	10,5	0,63					51,176	54,1	10,3	0,50
59,647	60,9	10,4	0,58	54,902	57,3	10,6	0,54	64,875	57,7	10,5	0,64					49,470	54,0	10,4	0,49
62,271	60,9	10,5	0,61	56,806	57,3	10,7	0,56	64,525	57,6	10,6	0,63					51,449	54,0	10,4	0,50
59,948	60,8	10,5	0,59	55,136	57,2	10,7	0,54	64,429	57,6	10,6	0,63					50,642	54,0	10,5	0,50
59,400	60,8	10,6	0,58	54,660	57,2	10,8	0,54	65,115	57,6	10,6	0,64					50,418	53,9	10,5	0,49
62,392	60,8	10,6	0,61	51,704	57,1	10,9	0,51	64,452	57,5	10,7	0,63					50,816	53,9	10,6	0,50
61,585	60,7	10,6	0,60	52,745	57,0	10,9	0,53	64,406	57,5	10,7	0,63					51,697	53,8	10,6	0,51
61,833	60,7	10,6	0,61	53,907	56,9	11,0	0,53	65,357	57,4	10,8	0,64					52,005	53,8	10,7	0,51
60,802	60,7	10,7	0,60	56,225	56,8	11,2	0,55	64,857	57,4	10,8	0,64					50,550	53,7	10,7	0,50
60,715	60,6	10,7	0,60	56,085	56,8	11,2	0,55	65,475	57,3	10,9	0,64					48,941	53,7	10,8	0,48
63,160	60,6	10,8	0,62	56,758	56,8	11,2	0,56	65,470	57,3	10,9	0,64					51,743	53,6	10,9	0,51
60,668	60,6	10,8	0,59	56,818	56,7	11,3	0,56	65,604	57,3	10,9	0,64					50,851	53,6	10,9	0,50
61,321	60,5	10,9	0,60	55,710	56,6	11,4	0,55	65,668	57,2	11,0	0,64					51,000	53,5	10,9	0,50
62,478	60,5	10,9	0,61	56,249	56,5	11,5	0,55	65,538	57,1	11,1	0,64					50,275	53,5	10,9	0,49
62,307	60,5	10,9	0,61	56,271	56,5	11,5	0,55	66,396	57,1	11,1	0,65					52,706	53,5	10,9	0,52
61,913	60,4	11,0	0,61	56,392	56,5	11,5	0,55	65,577	57,0	11,2	0,64					51,558	53,5	10,9	0,51
63,242	60,4	11,0	0,62	55,209	56,5	11,5	0,54	66,668	56,9	11,3	0,65					51,089	53,5	10,9	0,50
63,281	60,3	11,0	0,62	56,648	56,5	11,5	0,56	66,749	56,8	11,4	0,65					50,694	53,5	11,0	0,50
63,976	60,3	11,1	0,63	56,772	56,5	11,5	0,56	66,289	56,6	11,5	0,65					50,807	53,4	11,0	0,50
60,055	60,2	11,1	0,59	57,142	56,5	11,5	0,56	66,957	56,6	11,6	0,66					53,536	53,4	11,1	0,53
59,513	60,1	11,2	0,58	57,475	56,5	11,5	0,56	67,020	56,6	11,6	0,66					53,101	53,3	11,1	0,52
57,389	60,0	11,3	0,56	56,542	56,5	11,5	0,55	66,566	56,5	11,7	0,65					52,262	53,3	11,2	0,51
60,731	60,0	11,3	0,60	56,788	56,5	11,5	0,56	66,839	56,5	11,7	0,66					51,556	53,3	11,2	0,51
60,849	60,0	11,4	0,60	57,291	56,5	11,5	0,56	66,732	56,5	11,7	0,65					48,316	53,2	11,3	0,47
57,874	60,0	11,4	0,57	57,781	56,5	11,5	0,57	67,830	56,5	11,7	0,67					50,344	53,1	11,3	0,49
56,396	60,0	11,4	0,55	56,616	56,5	11,5	0,56	67,108	56,5	11,7	0,66					54,415	53,1	11,4	0,53
61,349	60,0	11,4	0,60	57,821	56,5	11,5	0,57	67,721	56,5	11,7	0,66					46,542	53,0	11,4	0,46
62,674	59,9	11,4	0,61	57,551	56,5	11,5	0,56	67,236	56,5	11,7	0,66					46,277	53,0	11,5	0,45
64,623	59,9	11,4	0,63	57,603	56,5	11,5	0,56	67,150	56,5	11,7	0,66					48,768	52,9	11,5	0,48
62,720	59,9	11,4	0,62	58,222	56,4	11,5	0,57	67,283	56,5	11,7	0,66					48,068	52,9	11,5	0,47
61,885	59,9	11,4	0,61	56,480	56,4	11,5	0,55	67,944	56,5	11,7	0,67					49,092	52,8	11,6	0,48
61,321	59,9	11,5	0,60	58,310	56,4	11,5	0,57	66,998	56,5	11,7	0,66					48,237	52,8	11,6	0,47
67,581	59,9	11,5	0,66	57,344	56,4	11,5	0,56	68,583	56,5	11,7	0,67					49,733	52,8	11,7	0,49
69,981	59,9	11,5	0,69	59,161	56,5	11,5	0,58	68,130	56,5	11,7	0,67					49,021	52,8	11,7	0,48
64,938	59,7	11,6	0,64	58,301	56,4	11,5	0,57	68,102	56,5	11,7	0,67					48,177	52,7	11,8	0,47
50,738	59,6	11,8	0,50	58,564	56,4	11,5	0,57	68,790	56,5	11,7	0,67					44,185	52,6	11,8	0,43
55,191	59,5	11,8	0,54	58,373	56,4	11,5	0,57	67,293	56,4	11,7	0,66					45,685	52,6	11,9	0,45
52,691	59,5	11,9	0,52	58,488	56,4	11,5	0,57	68,588	56,4	11,7	0,67					45,239	52,5	11,9	0,44
56,429	59,4	11,9	0,55	58,657	56,4	11,5	0,58	68,876	56,5	11,7	0,68					49,441	52,5	12,0	0,48
				59,250	56,4	11,6	0,58	65,151	56,4	11,8	0,64					63,683	52,6	11,8	0,62
				58,406	56,3	11,6	0,57	42,852	56,4	11,8	0,42					48,716	52,6	11,8	0,48
				58,582	56,2	11,8	0,57	51,176	56,5	11,7	0,50					56,538	52,6	11,8	0,55
				56,474	56,1	11,9	0,55	65,719	56,5	11,7	0,64					31,242	52,6	11,8	0,31
				46,017	55,8	12,1	0,45	65,258	56,4	11,8	0,64					32,599	52,5	11,9	0,32
				62,075	55,9	12,1	0,61	66,252	56,5	11,7	0,65					39,698	52,5	11,9	0,39
				58,760	55,8	12,1	0,58	65,527	56,4	11,8	0,64					38,719	52,5	11,9	0,38
				56,742	55,8	12,2	0,56	67,510	56,4	11,8	0,66					40,711	52,5	12,0	0,40
				57,574	55,7	12,2	0,56	67,553	56,4	11,8	0,66					41,121	52,5	12,0	0,40
				59,315	55,7	12,3	0,58	68,813	56,3	11,9	0,67					46,275	52,4	12,0	0,45
				58,271	55,6	12,4	0,57	66,841	56,2	12,0	0,66					39,770	52,2	12,2	0,39
				58,913	55,6	12,4	0,58	71,463	56,0	12,2	0,70					43,161	52,2	12,3	0,42
				58,979	55,5	12,5	0,58	74,927	56,0	12,2	0,73					31,961	52,2	12,3	0,31
				58,664	55,5	12,5	0,58	71,840	55,9	12,3	0,70					38,557	52,2	12,3	0,38
				57,395	55,4	12,5	0,56	71,624	55,8	12,4	0,70					43,705	52,2	12,3	0,43
				56,316	55,4	12,6	0,55	62,964	55,7	12,5	0,62					35,561	52,1	12,3	0,35
				57,588	55,3	12,6	0,56	67,901	55,7	12,5	0,67					37,896	52,0	12,4	0,37
				57,621	55,3	12,7	0,57	67,196	55,7	12,5	0,66					33,642	51,9	12,5	0,33
				58,458	55,3	12,7	0,57	68,056	55,6	12,6	0,67					35,851	51,9	12,6	0,35
				58,847	55,2	12,8	0,58	68,491	55,6	12,6	0,67					39,437	51,8	12,6	0,39
				61,536	55,2	12,8	0,60	67,221	55,5	12,7	0,66					38,871	51,8	12,6	0,38
				59,041	55,1	12,9	0,58	67,423	55,5	12,7	0,66					35,128	51,7	12,7	0,34
				58,987	55,1	12,9	0,58	66,391	55,4	12,8	0,65					31,745	51,7	12,8	0,31
				59,013	55,1	12,9	0,58	65,868	55,4	12,8	0,65					35,872	51,6	12,8	0,35
				59,455	55,0	13,0	0,58	67,250	55,3	12,9	0,66					35,495	51,6	12,9	0,35
				60,280	55,0	13,0	0,59	66,547	55,3	12,9	0,65					31,867	51,5	12,9	0,31
				59,126	54,9	13,1	0,58	68,075	55,3	12,9	0,67					40,589	51,5	12,9	0,40
				59,105	54,9	13,1	0,58	68,014	55,2	13,0	0,67					33,431	51,5	13,0	0,33
				58,929	54,9	13,1	0,58	67,174	55,2	13,0	0,66					38,962	51,4	13,0	0,38
				60,954	54,8	13,2	0,60	67,517	55,1	13,1	0,66					38,128	51,4	13,0	0,37
				57,313	54,8	13,2	0,56	69,134	55,1	13,1	0,68					27,010	51,2	13,3	0,26
				59,124	54,7	13,3	0,58	65,958	55,0	13,2	0,65					19,796	51,1	13,4	0,19
				59,055	54,7	13,3	0,58	67,815	55,0	13,2	0,67					29,042	51,2	13,2	0,28
				56,583	54,6	13,4	0,55	66,611	55,0	13,2	0,65					38,275	51,2	13,2	0,38
				55,675	54,6	13,4	0,55	65,296	54,9	13,3	0,64					37,682	51,2	13,3	0,37
				55,617	54,6	13,4	0,55	67,982	54,9	13,3	0,67					41,520	51,1	13,3	0,41
				55,081	54,5	13,5	0,54	67,539	54,9	13,3	0,66					42,252	51,1	13,4	0,41
				55,907	54,5	13,5	0,55	67,835	54,8	13,4	0,67					38,476	51,0	13,4	0,38
				56,513	54,4	13,6	0,55	62,696	54,7	13,5	0,61					52,267	51,1	13,4	0,51
				55,087	54,3	13,6	0,54	60,628	54,7	13,5	0,59					40,177	51,0	13,5	0,39
				54,233	54,3	13,7	0,53	63,121	54,6	13,6	0,62					33,348	51,0	13,5	0,33
				54,396	54,3	13,7	0,53	62,705	54,6	13,6	0,61					35,836	51,0	13,5	0,35
				53,091	54,2	13,8	0,52	61,961	54,6	13,6	0,61					39,580	50,9	13,5	0,39
				54,350	54,2	13,8	0,53	61,366	54,5	13,7	0,60								
				54,178	54,2	13,8	0,53	63,227	54,5	13,7	0,62								
				55,352	54,2	13,8	0,54	63,975	54,5	13,7	0,63								
				56,387	54,2	13,8	0,55												
				55,820	54,1	13,9	0,55												
				57,685	54,1	13,9	0,57												
				59,268	54,1	13,9	0,58												
				57,430	54,0	14,0	0,56												
				58,810	53,9	14,0	0,58												
				59,017	53,9	14,1	0,58												
				56,601	53,8	14,1	0,56												
				56,720	53,8	14,2	0,56												
				58,140	53,8	14,2	0,57												
				54,715	53,7	14,3	0,54												
				54,736	53,7	14,3	0,54												
				56,258	53,6	14,4	0,55												
				55,670	53,5	14,4	0,55												
				56,568	53,5	14,5	0,55												
				54,550	53,5	14,5	0,53												
				57,172	53,5	14,5	0,56												
				57,791	53,5	14,5	0,57												
				55,258	53,5	14,5	0,54												
				56,373	53,5	14,5	0,55												
				54,982	53,4	14,6	0,54												
				54,914	53,4	14,6	0,54												
				52,176	53,3	14,7	0,51												
				52,821	53,3	14,7	0,52												
				53,860	53,2	14,8	0,53												
				55,091	53,2	14,8	0,54												
				55,880	53,1	14,9	0,55												
				55,118	53,1	14,9	0,54												

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Diâmetro: **3,00 cm**		**71,4**	**59,4**	Diâmetro: **3,00 cm**		**68,0**	**52,5**	Diâmetro: **3,00 cm**		**68,2**	**54,5**	Diâmetro: **3,00 cm**		**66,1**	**57,2**	Diâmetro: **3,00 cm**		**64,5**	**50,9**
Área: **7,07 cm2**				Área: **7,07 cm2**				Área: **7,07 cm2**				Área: **7,07 cm2**				Área: **7,07 cm2**			
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			**12,0mm**	**DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:**			**15,5mm**	**DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:**			**13,7mm**	**DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:**			**8,9mm**	**DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:**			**13,5mm**
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**	**DADOS COLETADOS NO ENSAIO**		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**	**DADOS COLETADOS NO ENSAIO**		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**	**DADOS COLETADOS NO ENSAIO**		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**	**DADOS COLETADOS NO ENSAIO**		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm) X**	**(kN) Y**	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm) X**	**(kN) Y**	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm) X**	**(kN) Y**	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm) X**	**(kN) Y**	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm) X**	**(kN) Y**
				54.939	53,0	15,0	0,54												
				54.853	53,0	15,0	0,54												
				54.746	53,0	15,0	0,54												
				54.673	52,9	15,1	0,54												
				55.057	52,9	15,1	0,54												
				53.534	52,9	15,1	0,53												
				53.466	52,8	15,2	0,52												
				52.562	52,8	15,2	0,52												
				54.537	52,7	15,3	0,53												
				54.843	52,7	15,3	0,54												
				54.714	52,6	15,3	0,54												
				53.880	52,6	15,4	0,53												
				53.562	52,5	15,4	0,53												
				53.834	52,5	15,5	0,53												
				55.564	52,5	15,5	0,54												

FEIRA CENTRAL SANTA MARIA – PONTO 3

Planilha de Cálculos Ensaio de Placa Ponto 3

Curva Carga x Recalque				
Furo3 (Centro da feira)				
	Leitura	Deslocamento mm - LVDT 1	Def. 1	Def. 2
Def. 1	1	0	0	
	1,62	0,62	12	
	1,62	0,62	24	
	1,97	0,97	36	
	2,96	1,96	48	
	29	28	60	
Final 12h	2	1		
	0			
	LVDT 2			
Def. 2	1	0		0
	3,1	2,1		12
	4,54	3,54		24
	5,32	4,32		36
	6,44	5,44		48
	29	28		60
Final 12h	2	1		
	0			

Tempo	Inicial	Leitura 1min	Dif(%)	Leitura 2min	Dif(%)	Leitura 4min	Dif(%)	Leitura 8min	Dif(%)
Leituras	3,0	3,01	0,5		301,0		0,0		0,0
Diferença (%)	3,7	3,77	2,3	3,81	1,8	3,9	3,9	4,02	5,0
	5,3	5,43	4,7	5,54	2,8	5,68	3,4	5,78	2,4
	9,1	9,92	10,3	10,27	4,2	10,59	3,7	10,84	2,8
			0,0		0,0		0,0		0,0
			0,0		0,0		0,0		0,0

Tempo	Inicial	Leitura 1min		Leitura 2min		Leitura 4min		Leitura 8min	
Leituras	5,5	5,5	0,0		550,0		0,0		0,0
Diferença (%)	6,93	7,07	3,5	7,09	0,5	7,16	1,7	7,17	0,2
	9,23	9,44	4,3	9,52	1,6	9,61	1,8	10,7	17,7
	13,38	13,9	6,1	14,37	5,2	14,55	2,0	14,75	2,1
			0,0		0,0		0,0		0,0
			0		0		0		0,0

Leitura 16min	Dif(%)	Leitura 32min	Dif(%)	Leitura 64min	Dif(%)	Leitura 128min
	0,0		0,0		0,0	
4,04	0,8		249,4		0,0	
5,78	0,0		356,8		0,0	
	550,3		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
Leitura 16min		Leitura 32min		Leitura 64min		Leitura 128min
	0,0		0,0		0,0	
7,17	0,0		231,3		0,0	
10,7	0,0		235,7		0,0	
	277,3		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	
	0,0		0,0		0,0	

Dados Ensaios Protótipo – 05 Ensaios Santa Maria Ponto 3

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 68,4	COTA FINAL LVDT: 65,0	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 70,9	COTA FINAL LVDT: 60,5	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 69,4	COTA FINAL LVDT: 64,1	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 68,5	COTA FINAL LVDT: 62,2	DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: 3,00 cm Área: 7,07 cm2		COTA INICIAL LVDT: 69,2	COTA FINAL LVDT: 63,6
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			3,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			10,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,2mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			6,3mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,6mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO (mm)	CARGA (kN)
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	X	Y
2.232	68,4	0,0	0,02	1.320	70,9	0,0	0,01	1.482	69,4	0,0	0,01	3.193	68,5	0,0	0,03	2.151	69,2	0,0	0,02
1.687	68,4	0,0	0,02	1.308	70,9	0,0	0,01	1.329	69,4	0,0	0,01	2.371	68,5	0,0	0,02	1.990	69,2	0,0	0,02
2.564	68,4	0,0	0,03	1.425	70,9	0,0	0,01	1.587	69,4	0,0	0,02	3.683	68,5	0,0	0,04	2.638	69,1	0,1	0,03
3.295	68,3	0,1	0,03	1.469	70,9	0,0	0,01	1.598	69,3	0,0	0,02	4.679	68,4	0,1	0,05	3.343	69,1	0,1	0,03
3.846	68,3	0,1	0,04	1.561	70,9	0,0	0,02	1.759	69,3	0,1	0,02	5.223	68,4	0,1	0,05	4.067	69,0	0,2	0,04
4.570	68,2	0,1	0,04	1.711	70,8	0,1	0,02	1.853	69,2	0,1	0,02	6.053	68,4	0,2	0,06	4.885	68,8	0,4	0,05
5.080	68,2	0,2	0,05	1.726	70,7	0,2	0,02	2.048	69,2	0,1	0,02	6.869	68,3	0,2	0,07	5.619	68,8	0,5	0,06
5.684	68,2	0,2	0,06	1.981	70,7	0,2	0,02	2.218	69,2	0,1	0,02	7.778	68,3	0,3	0,08	6.502	68,7	0,5	0,06
6.343	68,1	0,3	0,06	1.755	70,7	0,2	0,02	2.439	69,2	0,1	0,02	8.309	68,2	0,3	0,08	7.359	68,6	0,6	0,07
6.915	68,1	0,3	0,07	2.324	70,6	0,3	0,02	2.686	69,3	0,1	0,03	9.102	68,2	0,3	0,09	8.307	68,6	0,6	0,08
7.525	68,0	0,4	0,07	2.358	70,6	0,3	0,02	3.058	69,2	0,1	0,03	9.766	68,2	0,3	0,10	9.228	68,5	0,7	0,09
8.147	68,0	0,4	0,08	2.880	70,6	0,3	0,03	3.365	69,3	0,1	0,03	10.602	68,2	0,4	0,10	10.098	68,5	0,7	0,10
8.620	68,0	0,4	0,08	2.968	70,5	0,4	0,03	3.702	69,2	0,1	0,04	10.813	68,1	0,4	0,11	10.988	68,4	0,8	0,11
9.214	67,9	0,5	0,09	3.219	70,5	0,4	0,03	3.896	69,2	0,1	0,04	11.801	68,1	0,4	0,12	11.846	68,4	0,8	0,12
9.844	67,9	0,5	0,10	3.164	70,4	0,5	0,03	4.349	69,2	0,1	0,04	12.563	68,1	0,5	0,12	12.701	68,3	0,9	0,12
10.407	67,9	0,5	0,10	3.606	70,4	0,5	0,04	4.655	69,2	0,1	0,05	13.613	68,1	0,5	0,13	13.577	68,3	0,9	0,13
10.831	67,9	0,5	0,11	4.053	70,3	0,6	0,04	4.980	69,2	0,1	0,05	14.442	68,0	0,5	0,14	14.423	68,3	0,9	0,14
11.408	67,8	0,6	0,11	4.068	70,3	0,6	0,04	5.407	69,3	0,1	0,05	15.380	68,0	0,5	0,15	15.174	68,2	1,0	0,15
12.077	67,8	0,6	0,12	4.321	70,2	0,7	0,04	5.686	69,2	0,1	0,06	16.307	68,0	0,6	0,16	16.013	68,2	1,0	0,16
12.770	67,7	0,7	0,13	4.661	70,2	0,7	0,05	6.021	69,2	0,1	0,06	17.307	67,9	0,6	0,17	16.655	68,2	1,0	0,16
13.457	67,7	0,7	0,13	4.983	70,1	0,8	0,05	6.454	69,2	0,1	0,06	18.288	67,9	0,7	0,18	17.363	68,2	1,0	0,17
14.107	67,7	0,7	0,14	5.136	70,1	0,8	0,05	6.819	69,2	0,1	0,07	19.450	67,9	0,7	0,19	17.993	68,1	1,1	0,18
14.740	67,6	0,8	0,14	5.491	70,0	0,8	0,05	7.178	69,2	0,1	0,07	20.294	67,8	0,7	0,20	18.918	68,1	1,1	0,19
15.468	67,6	0,8	0,15	5.853	70,0	0,9	0,06	7.545	69,2	0,1	0,07	21.224	67,8	0,7	0,21	19.968	68,1	1,2	0,20
16.156	67,6	0,8	0,16	6.085	69,9	1,0	0,06	8.000	69,2	0,1	0,08	22.154	67,8	0,7	0,22	20.965	68,0	1,2	0,21
16.865	67,6	0,8	0,17	6.458	69,8	1,1	0,06	8.382	69,2	0,1	0,08	23.090	67,8	0,8	0,23	21.999	68,0	1,2	0,22
17.621	67,5	0,9	0,17	6.835	69,7	1,2	0,07	8.811	69,2	0,1	0,09	23.861	67,7	0,8	0,23	23.008	68,0	1,2	0,23
18.299	67,5	0,9	0,18	7.279	69,7	1,2	0,07	9.181	69,2	0,1	0,09	24.596	67,7	0,9	0,24	24.291	67,9	1,3	0,24
19.049	67,4	0,9	0,19	7.623	69,5	1,4	0,07	9.523	69,2	0,1	0,09	25.626	67,6	0,9	0,25	25.195	67,9	1,3	0,25
19.786	67,4	1,0	0,19	7.836	69,5	1,4	0,08	10.052	69,2	0,1	0,10	26.510	67,6	0,9	0,26	26.444	67,8	1,4	0,26
20.547	67,4	1,0	0,20	8.347	69,4	1,5	0,08	10.363	69,2	0,1	0,10	27.467	67,6	0,9	0,27	27.667	67,8	1,4	0,27
21.327	67,3	1,1	0,21	8.963	69,3	1,6	0,09	10.704	69,2	0,1	0,10	28.503	67,6	1,0	0,28	28.640	67,8	1,4	0,28
21.964	67,3	1,1	0,22	9.052	69,3	1,6	0,09	11.307	69,2	0,1	0,11	29.165	67,5	1,0	0,29	29.844	67,8	1,4	0,29
22.778	67,3	1,1	0,22	9.843	69,3	1,6	0,10	11.635	69,2	0,1	0,11	29.671	67,5	1,0	0,29	30.944	67,8	1,4	0,30
23.537	67,2	1,2	0,23	10.177	69,3	1,6	0,10	12.071	69,2	0,1	0,12	30.023	67,5	1,1	0,29	31.884	67,7	1,5	0,31
24.202	67,2	1,2	0,24	10.741	69,2	1,6	0,11	12.589	69,2	0,1	0,12	29.114	67,4	1,2	0,29	33.163	67,7	1,5	0,33
25.109	67,2	1,2	0,25	10.891	69,2	1,7	0,11	13.049	69,2	0,1	0,13	35.206	67,4	1,1	0,35	34.478	67,6	1,6	0,34
25.921	67,1	1,3	0,25	11.827	69,2	1,7	0,12	13.430	69,2	0,1	0,13	34.978	67,4	1,1	0,34	35.609	67,6	1,6	0,35
26.647	67,1	1,3	0,26	12.255	69,2	1,7	0,12	13.837	69,2	0,1	0,14	35.396	67,4	1,2	0,35	36.583	67,6	1,6	0,36
27.463	67,1	1,3	0,27	12.709	69,2	1,7	0,12	14.449	69,2	0,1	0,14	32.889	67,3	1,3	0,32	37.979	67,6	1,6	0,37
28.110	67,0	1,4	0,28	13.056	69,2	1,7	0,13	14.754	69,2	0,1	0,14	34.083	67,3	1,3	0,33	39.042	67,5	1,7	0,38
28.879	67,0	1,4	0,28	13.545	69,2	1,7	0,13	15.418	69,2	0,1	0,15	33.462	67,2	1,3	0,33	40.217	67,5	1,7	0,39
29.760	67,0	1,4	0,29	14.328	69,2	1,7	0,14	15.943	69,2	0,1	0,16	39.465	67,2	1,3	0,39	41.644	67,5	1,7	0,41
30.519	66,9	1,4	0,30	14.816	69,2	1,7	0,15	16.427	69,2	0,1	0,16	38.231	67,2	1,3	0,37	42.738	67,5	1,7	0,42
31.216	66,9	1,5	0,31	15.328	69,2	1,7	0,15	16.981	69,2	0,1	0,17	40.626	67,1	1,4	0,40	43.786	67,4	1,8	0,43
32.200	66,9	1,5	0,32	15.816	69,3	1,6	0,16	17.379	69,2	0,1	0,17	40.118	67,1	1,4	0,39	44.762	67,4	1,8	0,44
32.935	66,9	1,5	0,32	16.332	69,2	1,7	0,16	17.862	69,1	0,2	0,18	44.009	67,1	1,5	0,43	46.265	67,3	1,9	0,45
33.732	66,8	1,6	0,33	16.822	69,2	1,7	0,16	18.255	69,1	0,2	0,18	40.661	67,1	1,5	0,40	47.269	67,3	1,9	0,46
34.440	66,8	1,6	0,34	17.329	69,2	1,7	0,17	18.973	69,0	0,3	0,19	39.026	67,0	1,5	0,38	48.392	67,3	1,9	0,47
35.246	66,7	1,7	0,35	18.024	69,2	1,7	0,18	19.098	69,0	0,3	0,19	42.204	67,0	1,6	0,41	49.545	67,3	1,9	0,49
35.973	66,7	1,7	0,35	17.926	69,2	1,7	0,18	19.601	69,0	0,3	0,19	39.649	66,9	1,6	0,39	50.776	67,2	2,0	0,50
36.788	66,6	1,8	0,36	18.301	69,2	1,7	0,18	20.100	68,9	0,5	0,20	41.926	66,9	1,6	0,41	51.770	67,2	2,0	0,51
37.494	66,6	1,8	0,37	19.118	69,2	1,7	0,19	20.647	68,8	0,5	0,20	44.765	66,9	1,7	0,44	52.865	67,2	2,0	0,52
38.244	66,6	1,8	0,38	19.648	69,2	1,7	0,19	21.046	68,7	0,7	0,21	42.288	66,8	1,7	0,41	54.036	67,1	2,1	0,53
39.206	66,6	1,8	0,38	20.179	69,2	1,7	0,20	21.728	68,7	0,7	0,21	42.764	66,8	1,8	0,42	55.264	67,1	2,1	0,54
39.922	66,5	1,8	0,39	20.856	69,2	1,7	0,20	22.315	68,6	0,8	0,22	44.750	66,8	1,8	0,44	56.543	67,1	2,1	0,55
40.543	66,5	1,9	0,40	21.573	69,2	1,7	0,21	22.995	68,5	0,8	0,23	42.712	66,7	1,8	0,42	56.931	67,0	2,2	0,56
41.409	66,5	1,9	0,41	22.145	69,2	1,7	0,22	23.625	68,5	0,9	0,23	42.732	66,7	1,9	0,42	56.020	67,0	2,2	0,55
41.884	66,4	1,9	0,41	22.573	69,2	1,7	0,22	24.239	68,4	0,9	0,24	43.958	66,6	1,9	0,43	49.098	66,9	2,3	0,48
42.724	66,4	2,0	0,42	23.760	69,2	1,7	0,23	24.890	68,4	1,0	0,24	43.689	66,6	1,9	0,43	44.757	66,9	2,3	0,44
43.569	66,4	2,0	0,43	23.889	69,2	1,7	0,23	25.559	68,3	1,0	0,25	45.143	66,5	2,0	0,44	46.051	66,8	2,4	0,45
44.193	66,3	2,1	0,43	24.915	69,2	1,7	0,24	26.234	68,3	1,0	0,26	45.305	66,5	2,0	0,44	63.177	66,9	2,3	0,62
44.656	66,3	2,1	0,44	25.931	69,2	1,7	0,25	26.997	68,2	1,1	0,26	43.929	66,5	2,0	0,43	63.861	66,8	2,4	0,63
45.521	66,3	2,1	0,45	25.396	69,2	1,7	0,25	27.443	68,2	1,1	0,27	43.892	66,5	2,1	0,43	26.240	66,5	2,7	0,26
44.577	66,2	2,2	0,44	27.321	69,2	1,7	0,27	28.216	68,2	1,2	0,28	43.519	66,4	2,1	0,43	25.786	66,5	2,7	0,25
46.235	66,2	2,2	0,45	28.208	69,2	1,7	0,28	28.999	68,1	1,2	0,28	45.031	66,4	2,2	0,44	29.120	66,5	2,7	0,29
47.285	66,1	2,3	0,46	28.561	69,2	1,7	0,28	29.731	68,1	1,2	0,29	44.629	66,3	2,2	0,44	31.319	66,5	2,7	0,31
47.316	66,1	2,3	0,46	29.119	69,2	1,7	0,29	30.453	68,0	1,3	0,30	43.356	66,3	2,3	0,43	29.147	66,4	2,8	0,29
47.401	66,0	2,3	0,46	30.258	69,2	1,7	0,30	31.138	68,0	1,3	0,31	44.322	66,2	2,3	0,43	31.222	66,4	2,8	0,31
49.083	66,0	2,4	0,48	31.371	69,2	1,7	0,31	31.895	68,0	1,4	0,31	42.436	66,2	2,4	0,42	34.310	66,4	2,8	0,34
49.678	66,0	2,4	0,49	32.164	69,2	1,7	0,32	32.615	68,0	1,4	0,32	46.647	66,1	2,4	0,46	33.689	66,4	2,9	0,33
48.012	66,0	2,4	0,47	33.002	69,2	1,7	0,32	33.367	67,9	1,4	0,33	43.421	66,1	2,5	0,43	36.480	66,3	2,9	0,36
45.420	66,0	2,4	0,45	32.127	69,2	1,7	0,32	34.094	67,9	1,5	0,33	44.574	66,1	2,5	0,44	38.105	66,3	2,9	0,37
47.701	65,9	2,4	0,47	23.380	69,2	1,7	0,23	34.931	67,9	1,5	0,34	43.661	66,0	2,5	0,43	39.869	66,3	2,9	0,39
46.379	65,9	2,5	0,45	36.959	69,2	1,7	0,36	35.764	67,8	1,5	0,35	45.913	66,0	2,5	0,45	41.283	66,2	3,0	0,40
49.473	65,9	2,5	0,49	34.206	69,2	1,7	0,34	36.522	67,8	1,6	0,36	43.174	66,0	2,6	0,42	41.326	66,2	3,0	0,41
48.765	65,8	2,6	0,48	38.005	69,2	1,7	0,37	37.392	67,8	1,6	0,37	37.373	65,9	2,6	0,37	42.963	66,1	3,1	0,42
47.217	65,8	2,6	0,46	36.944	69,2	1,7	0,36	38.107	67,7	1,6	0,37	43.932	65,9	2,6	0,43	45.299	66,1	3,1	0,44
46.439	65,7	2,7	0,46	39.155	69,2	1,7	0,38	38.559	67,7	1,7	0,38	38.931	65,8	2,7	0,38	45.416	66,1	3,1	0,45
41.894	65,6	2,7	0,41	40.078	69,1	1,8	0,39	39.322	67,7	1,7	0,39	41.044	65,8	2,8	0,40	46.355	66,0	3,2	0,46
43.343	65,6	2,8	0,43	40.672	69,0	1,9	0,41	40.207	67,6	1,7	0,39	39.841	65,7	2,8	0,39	47.515	66,0	3,2	0,47
44.493	65,5	2,9	0,44	42.289	69,0	1,9	0,41	40.962	67,6	1,8	0,40	41.740	65,7	2,9	0,41	48.918	66,0	3,2	0,48
40.835	65,5	2,9	0,40	43.269	68,9	2,0	0,42	41.610	67,6	1,8	0,41	42.050	65,7	2,9	0,41	49.437	66,0	3,2	0,48
39.256	65,4	3,0	0,38	44.746	68,9	2,0	0,44	42.258	67,5	1,8	0,41	42.786	65,6	2,9	0,42	49.434	66,0	3,2	0,48
40.696	65,4	3,0	0,40	45.285	68,7	2,2	0,44	43.225	67,5	1,9	0,42	39.225	65,5	3,0	0,38	50.889	65,9	3,3	0,50
42.480	65,4	3,0	0,42	46.870	68,7	2,2	0,46	43.926	67,5	1,9	0,43	37.718	65,5	3,1	0,37	50.727	65,9	3,3	0,50
43.672	65,3	3,1	0,43	47.291	68,6	2,3	0,46	44.671	67,4	1,9	0,44	38.777	65,4	3,2	0,38	49.754	65,8	3,4	0,49
43.974	65,3	3,1	0,43	48.281	68,5	2,4	0,47	45.286	67,4	2,0	0,44	38.811	65,3	3,2	0,38	50.077	65,8	3,4	0,49
42.403	65,3	3,1	0,42	49.140	68,5	2,4	0,48	46.054	67,4	2,0	0,45	40.254	65,3	3,2	0,39	48.899	65,7	3,5	0,48
38.604	65,3	3,1	0,38	50.410	68,4	2,5	0,49	46.668	67,3	2,0	0,46	38.659	65,3	3,2	0,38	47.934	65,7	3,5	0,47
43.428	65,2	3,2	0,43	51.204	68,4	2,5	0,50	47.590	67,3	2,1	0,47	38.428	65,3	3,2	0,38	48.840	65,7	3,5	0,48
43.221	65,3	3,1	0,42	52.207	68,3	2,6	0,51	48.454	67,3	2,1	0,48	37.851	65,3	3,2	0,37	49.660	65,6	3,6	0,49
39.756	65,2	3,2	0,39	54.166	68,3	2,6	0,53	49.080	67,2	2,1	0,48	38.962	65,3	3,3	0,38	48.821	65,6	3,6	0,48
43.968	65,4	3,0	0,43	55.665	68,3	2,6	0,55	49.721	67,2	2,2	0,49	39.375	65,3	3,3	0,39	49.188	65,5	3,7	0,48
42.857	65,1	3,3	0,42	55.663	68,3	2,6	0,55	50.492	67,2	2,2	0,50	39.378	65,2	3,3	0,39	48.317	65,4	3,8	0,47
40.426	65,0	3,4	0,40	52.976	68,2	2,7	0,52	50.923	67,1	2,2	0,50	39.724	65,1	3,4	0,39	49.235	65,4	3,8	0,48
41.493	65,0	3,4	0,41	56.237	68,1	2,8	0,55	51.789	67,1	2,3	0,51	50.667	65,1	3,5	0,50	50.001	65,4	3,8	0,49
				58.906	68,1	2,8	0,58	52.327	67,1	2,3	0,51	33.750	64,9	3,7	0,33	49.788	65,3	3,9	0,49
				59.359	68,1	2,8	0,58	52.831	67,0	2,3	0,52	27.387	64,8	3,8	0,27	48.143	65,3	3,9	0,47
				54.290	68,0	2,9	0,53	53.767	67,0	2,3	0,53	34.358	64,8	3,7	0,34	4.681	65,3	3,9	0,05
				46.201	67,9	3,0	0,45	54.693	67,0	2,4	0,54	34.075	64,8	3,8	0,33	48.694	65,3	3,9	0,48
				51.550	67,9	3,0	0,51	55.242	66,9	2,4	0,54	25.052	64,7	3,9	0,25	50.910	65,3	3,9	0,50
				45.700	67,8	3,1	0,45	55.444	66,9	2,4	0,54	31.762	64,6	3,9	0,31	50.319	65,3	3,9	0,49
				54.455	67,8	3,1	0,53	56.563	66,9	2,5	0,55	30.453	64,6	3,9	0,30	45.260	65,2	4,0	0,44
				47.106	67,7	3,2	0,46	57.289	66,8	2,5	0,56	27.251	64,5	4,0	0,27	41.822	65,1	4,1	0,41
				49.562	67,7	3,2	0,49	57.851	66,8	2,5	0,57	31.380	64,5	4,1	0,31	43.339	65,0	4,2	0,43
				59.752	67,7	3,2	0,59	57.376	66,8	2,6	0,56	32.842	64,4	4,1	0,32	52.657	65,0	4,2	0,52
				60.530	67,7	3,2	0,59	57.780	66,7	2,7	0,57	28.281	64,3	4,2	0,28	50.263	65,0	4,2	0,49
				53.140	67,6	3,2	0,52	58.575	66,7	2,7	0,57	32.624	64,3	4,2	0,32	48.559	64,9	4,3	0,49
				58.779	67,6	3,3	0,58	58.681	66,6	2,7	0,58	33.099	64,1	4,4	0,32	48.581	64,9	4,3	0,48
				61.637	67,5	3,4	0,60	61.334	66,6	2,7	0,60	45.380	64,2	4,4	0,45	50.524	64,8	4,4	0,50
				61.493	67,5	3,4	0,60	60.884	66,5	2,8	0,59	38.220	64,1	4,4	0,37	49.926	64,8	4,4	0,49
				60.682	67,5	3,4	0,59	58.859	66,5	2,8	0,58	38.774	64,1	4,4	0,38	51.076	64,8	4,4	0,50
				58.914	67,4	3,5	0,58	61.843	66,5	2,8	0,61	29.984	64,1	4,4	0,29	49.693	64,8	4,4	0,49
				58.035	67,4	3,5	0,55	60.831	66,5	2,8	0,59	38.899	64,1	4,4	0,38	47.730	64,7	4,5	0,47
				61.501	67,3	3,5	0,60	60.890	66,5	2,9	0,60	37.572	64,1	4,4	0,37	51.510	64,7	4,5	0,51
				60.791	67,3	3,6	0,60	60.455	66,4	3,0	0,59	36.416	64,1	4,4	0,36	53.010	64,7	4,6	0,52
				58.854	67,2	3,6	0,58	60.135	66,4	3,0	0,59	39.089	64,0	4,5	0,38	50.513	64,6	4,6	0,50
				57.282	67,2	3,7	0,56	60.707	66,3	3,0	0,60	40.738	64,0	4,5	0,40	51.901	64,5	4,7	0,51
				60.683	67,2	3,7	0,60	58.114	66,2	3,1	0,57	37.140	63,9	4,6	0,36	49.634	64,5	4,7	0,49
				61.917	67,1	3,7	0,61	5.905	66,2	3,2	0,06	36.395	63,9	4,7	0,36	46.491	64,4	4,8	0,46
				61.841	67,1	3,8	0,61	58.176	66,1	3,2	0,57	39.213	63,8	4,7	0,38	46.632	64,3	4,9	0,46
				61.554	67,1	3,8	0,60	58.487	66,1	3,3	0,57	38.650	63,8	4,8	0,38	48.017	64,4	4,9	0,47
				61.765	67,0	3,9	0,61	59.374	66,1	3,3	0,58	37.491	63,7	4,8	0,37	45.892	64,2	5,0	0,45
				59.746	67,0	3,9	0,59	55.971	66,0	3,3	0,55	35.930	63,7	4,9	0,35	45.622	64,2	5,1	0,45
				59.201	67,0	3,9	0,58	57.296	66,0	3,3	0,56	36.028	63,7	4,9	0,35	46.322	64,1	5,1	0,45
				60.413	66,9	4,0	0,59	55.957	66,0	3,4	0,55	35.811	63,6	5,0	0,35	48.379	64,1	5,1

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Diâmetro: 3,00 cm		68,4	65,0	Diâmetro: 3,00 cm		70,9	60,5	Diâmetro: 3,00 cm		69,4	64,1	Diâmetro: 3,00 cm		68,5	62,2	Diâmetro: 3,00 cm		69,2	63,6
Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2			
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			3,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			10,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,2mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			6,3mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,6mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA
CARGA	DESLOCAM. LVDT	(mm)	(kN)	CARGA	DESLOCAM. LVDT	(mm)	(kN)	CARGA	DESLOCAM. LVDT	(mm)	(kN)	CARGA	DESLOCAM. LVDT	(mm)	(kN)	CARGA	DESLOCAM. LVDT	(mm)	(kN)
(mg)	(mm)	X	Y	(mg)	(mm)	X	Y	(mg)	(mm)	X	Y	(mg)	(mm)	X	Y	(mg)	(mm)	X	Y
				61.503	66,6	4,3	0,60	56.219	65,6	3,7	0,55	36.679	63,3	5,3	0,36	46.420	64,1	5,1	0,46
				36.062	66,5	4,4	0,35	56.366	65,6	3,7	0,55	37.958	63,2	5,3	0,37	47.312	64,0	5,2	0,46
				4.710	66,5	4,4	0,05	57.109	65,6	3,8	0,56	36.443	63,2	5,3	0,36	44.730	63,9	5,3	0,44
				63.724	66,3	4,6	0,62	56.438	65,5	3,8	0,55	34.041	63,2	5,3	0,33	46.633	63,8	5,4	0,46
				49.936	66,1	4,8	0,49	55.412	65,4	3,9	0,54	37.797	63,1	5,4	0,37	46.351	63,8	5,4	0,45
				59.862	66,1	4,8	0,59	57.023	65,4	4,0	0,56	44.882	63,2	5,4	0,44	46.699	63,7	5,5	0,46
				48.373	66,0	4,9	0,47	57.086	65,4	4,0	0,56	41.144	63,2	5,4	0,40	48.037	63,7	5,5	0,47
				52.956	66,0	4,9	0,52	57.949	65,3	4,0	0,57	41.667	63,1	5,4	0,41	47.468	63,7	5,5	0,47
				58.178	66,0	4,9	0,57	56.846	65,3	4,1	0,56	41.428	63,0	5,5	0,41	46.884	63,6	5,6	0,46
				50.736	66,0	4,9	0,50	58.351	65,3	4,0	0,57	41.812	63,0	5,5	0,41	46.541	63,6	5,6	0,46
				51.545	65,9	5,0	0,51	59.579	65,3	4,0	0,58	41.096	63,0	5,6	0,40				
				52.286	65,9	5,0	0,51	57.422	65,3	4,1	0,56	42.183	62,9	5,6	0,41				
				52.806	65,8	5,1	0,52	57.162	65,3	4,1	0,56	41.832	62,9	5,7	0,41				
				50.884	65,8	5,1	0,50	59.815	65,2	4,2	0,59	40.693	62,8	5,7	0,40				
				54.838	65,7	5,2	0,54	58.353	65,2	4,2	0,57	39.470	62,8	5,8	0,39				
				52.292	65,7	5,2	0,51	59.212	65,1	4,2	0,58	41.879	62,7	5,8	0,41				
				53.378	65,7	5,2	0,52	57.855	65,1	4,3	0,57	42.759	62,7	5,8	0,42				
				51.912	65,6	5,3	0,51	55.380	65,0	4,4	0,54	41.902	62,7	5,9	0,41				
				51.114	65,6	5,3	0,50	58.928	64,9	4,4	0,58	38.160	62,6	5,9	0,37				
				51.810	65,5	5,4	0,51	56.208	64,9	4,4	0,55	39.726	62,6	6,0	0,39				
				51.747	65,4	5,5	0,51	56.565	64,9	4,5	0,55	41.388	62,5	6,0	0,41				
				52.726	65,4	5,5	0,52	56.109	64,8	4,6	0,55	40.274	62,5	6,1	0,39				
				49.143	65,3	5,5	0,48	57.842	64,8	4,6	0,57	40.958	62,4	6,1	0,40				
				51.735	65,3	5,6	0,51	58.640	64,8	4,6	0,58	39.748	62,4	6,1	0,39				
				49.697	65,3	5,6	0,49	56.719	64,7	4,6	0,56	38.957	62,3	6,2	0,38				
				51.234	65,3	5,6	0,50	57.152	64,7	4,7	0,56	38.200	62,3	6,3	0,37				
				51.211	65,3	5,6	0,50	58.706	64,6	4,7	0,58	39.214	62,2	6,3	0,38				
				53.045	65,3	5,6	0,52	57.854	64,6	4,8	0,57								
				50.178	65,3	5,6	0,49	57.992	64,5	4,8	0,57								
				49.825	65,2	5,7	0,49	58.906	64,5	4,9	0,58								
				50.408	65,1	5,8	0,49	56.788	64,4	4,9	0,56								
				47.665	65,0	5,9	0,47	55.856	64,3	5,0	0,55								
				51.115	65,0	5,9	0,50	59.887	64,3	5,1	0,59								
				50.616	64,9	6,0	0,50	59.346	64,3	5,1	0,58								
				51.284	64,9	6,0	0,50	55.874	64,1	5,2	0,55								
				52.026	64,9	6,0	0,51	55.888	64,1	5,2	0,55								
				48.170	64,8	6,1	0,47	56.126	64,1	5,2	0,55								
				51.521	64,8	6,1	0,51	54.723	64,1	5,2	0,54								
				51.795	64,7	6,2	0,51	55.423	64,1	5,2	0,54								
				50.698	64,7	6,2	0,50												
				51.750	64,7	6,2	0,51												
				51.875	64,6	6,3	0,51												
				51.543	64,6	6,3	0,51												
				48.053	64,5	6,4	0,47												
				48.531	64,4	6,5	0,48												
				49.839	64,4	6,5	0,49												
				50.026	64,3	6,6	0,49												
				47.764	64,3	6,6	0,47												
				51.145	64,2	6,7	0,50												
				50.351	64,2	6,7	0,49												
				49.430	64,1	6,8	0,48												
				51.415	64,1	6,8	0,50												
				47.798	64,1	6,8	0,47												
				46.651	64,1	6,8	0,46												
				50.252	64,1	6,8	0,49												
				49.442	64,1	6,8	0,48												
				48.106	64,1	6,8	0,47												
				47.347	64,1	6,8	0,46												
				49.586	64,0	6,9	0,49												
				49.296	64,0	6,9	0,48												
				47.686	63,9	7,0	0,47												
				48.860	63,8	7,1	0,48												
				49.651	63,8	7,1	0,49												
				48.606	63,7	7,2	0,48												
				49.849	63,7	7,2	0,49												
				49.039	63,7	7,2	0,48												
				49.586	63,6	7,3	0,49												
				48.552	63,6	7,3	0,48												
				47.657	63,5	7,4	0,47												
				49.485	63,5	7,4	0,49												
				50.169	63,5	7,4	0,49												
				50.219	63,3	7,6	0,49												
				51.596	63,3	7,6	0,51												
				49.558	63,2	7,6	0,49												
				49.657	63,2	7,7	0,49												
				50.143	63,2	7,7	0,49												
				52.131	63,2	7,7	0,51												
				49.291	63,2	7,7	0,48												
				52.518	63,1	7,8	0,52												
				51.959	63,1	7,8	0,51												
				48.936	63,0	7,9	0,48												
				50.757	63,0	7,9	0,50												
				51.126	62,9	8,0	0,50												
				51.837	62,9	8,0	0,51												
				49.985	62,9	8,0	0,49												
				50.156	62,8	8,1	0,49												
				47.748	62,8	8,1	0,47												
				51.666	62,7	8,2	0,51												
				49.697	62,7	8,2	0,49												
				49.662	62,6	8,3	0,49												
				49.595	62,6	8,3	0,49												
				50.558	62,6	8,3	0,50												
				50.644	62,5	8,4	0,50												
				51.318	62,5	8,4	0,50												
				51.748	62,4	8,5	0,51												
				51.754	62,4	8,5	0,51												
				50.638	62,3	8,6	0,50												
				49.992	62,3	8,6	0,49												
				50.369	62,2	8,7	0,49												
				50.889	62,1	8,8	0,50												
				51.000	62,0	8,8	0,50												
				50.317	62,0	8,9	0,49												
				50.125	61,9	8,9	0,49												
				49.960	61,9	9,0	0,49												
				51.839	62,0	8,9	0,51												
				49.414	61,9	9,0	0,48												
				44.106	61,9	9,0	0,43												
				43.223	61,9	9,0	0,42												
				45.656	61,9	9,0	0,45												
				41.256	61,9	9,0	0,40												
				41.061	61,9	9,0	0,40												
				43.609	61,9	9,0	0,42												
				48.153	61,9	9,0	0,47												
				28.752	61,8	9,1	0,28												
				31.746	61,7	9,1	0,31												
				45.494	61,8	9,1	0,45												
				45.190	61,7	9,2	0,44												
				41.640	61,6	9,3	0,41												
				41.280	61,5	9,4	0,40												
				39.302	61,5	9,4	0,39												
				38.310	61,4	9,4	0,38												
				41.927	61,4	9,5	0,41												
				42.660	61,4	9,5	0,42												
				42.468	61,3	9,6	0,42												
				41.581	61,3	9,6	0,41												
				44.387	61,2	9,6	0,44												
				38.582	61,1	9,8	0,38												
				37.888	61,1	9,8	0,37												
				45.199	61,1	9,8	0,44												
				45.257	61,0	9,8	0,44												
				43.776	61,0	9,9	0,43												
				44.710	61,0	9,9	0,44												

ENSAIO 1				ENSAIO 2				ENSAIO 3				ENSAIO 4				ENSAIO 5			
DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:	DADOS DA PONTEIRA:		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Diâmetro: 3,00 cm		68,4	65,0	Diâmetro: 3,00 cm		70,9	60,5	Diâmetro: 3,00 cm		69,4	64,1	Diâmetro: 3,00 cm		68,5	62,2	Diâmetro: 3,00 cm		69,2	63,6
Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2				Área: 7,07 cm2			
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			3,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			10,4mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,2mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			6,3mm	DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			5,6mm
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA	DADOS COLETADOS NO ENSAIO		DESLOCAMENTO	CARGA
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y	CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	(mm) X	(kN) Y
				47.810	60,9	9,9	0,47												
				45.636	60,9	10,0	0,45												
				43.975	60,8	10,1	0,43												
				46.869	60,8	10,1	0,46												
				44.289	60,7	10,2	0,43												
				46.953	60,7	10,2	0,46												
				40.727	60,7	10,2	0,40												
				39.926	60,7	10,2	0,39												
				41.595	60,6	10,3	0,41												
				42.597	60,6	10,3	0,42												
				43.916	60,5	10,4	0,43												
				45.610	60,5	10,4	0,45												

RELATÓRIO DE ENSAIOS

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DE PROVA DE CARGA

INTERESSADO:
Opção Comércio Atacadista de Materiais de Construção LTDA

LOCAL:
Setor Industrial de Ceilândia, Quadra 21 Lotes 23 a 41, Ceilândia – DF

RELATÓRIO:
RT.ENS.023.21

BRASÍLIA, DISTRITO FEDERAL

SRTV/S Quadra 701 Bloco K Sala 428 - Edifício Embassy Tower ASA SUL, Brasília-DF
Telefone: (61) 3031-1616 (61) 99690-2080

HNS ENGENHARIA

PONTO 3

Curva Carga x Recalque
Ponto 3

	Leitura	Deslocamento mm	Def. 1	Def. 2	Def.3
Def. 1	0,98	0	0		
	1,07	0,09	3200		
	1,16	0,18	6400		
	1,28	0,3	9600		
	1,41	0,43	12800		
	1,48	0,5	16000		
	1,47	0,49	12800		
	1,4	0,42	9600		
	1,37	0,39	6400		
	1,31	0,33	3200		
	1,21	0,23	0		
12h	1,21	0,23	0		
Final	0				

Tempo	Inicial	Leitura 1min	Dif(%)	Leitura 2min	Dif(%)	Leitura 4min	Dif(%)	Leitura 8min	Dif(%)	Leitura 16min	Dif(%)	Leitura 32min	Dif(%)	Leitura 64min	Dif(%)	Leitura 128min	Dif(%)	Leitura 256min	Dif(%)	Descarregamento 16000 para	Dif(%)	Leitura 12800 para 9600	Dif(%)	Leitura 9600 para 6400	Dif(%)	6400 para 3200	Dif(%)	3200 para 0	Dif(%)
Leituras	1,0	0	1,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
Diferença (%)	1,2	1,24	0,1	1,25	5,6	0	116,8	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	1,3	1,36	0,5	1,26	-100,0	0	108,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	1,3	1,32	-0,5	1,34	33,3	1,36	25,0	0	106,3		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	1,4	1,46	0,4	1,44	-66,7	1,44	0,0	1,44	0,0	1,44	0,0	1,44	0,0	1,48	57,1		105,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	1,4	1,33	0,2	1,33	0,0	1,33	0,0	1,33	0,0	1,33	0,0	1,33	0,0	1,33	0,0	1,33	0,0	1,39	-66,7	1,39	0,0	1,4	-12,5	1,4	0,0	1,4	0,0	1,95	117,0

	Leitura	Deslocamento mm	Def. 2
Def. 2	1	0	0
	3,36	2,38	3200
	4,47	3,49	6400
	5,08	4,1	9600
	5,74	4,76	12800
	4,76	4,86	16000
	5,23	4,62	12800
	5,23	4,62	9600
	5,03	4,05	6400
	4,46	3,48	3200
	2,35	2,1	0
12h	2,35	1,95	
Final	0		

Tempo	Inicial	Leitura 1min	Dif(%)	Leitura 2min	Dif(%)	Leitura 4min	Dif(%)	Leitura 8min	Dif(%)	Leitura 16min	Dif(%)	Leitura 32min	Dif(%)	Leitura 64min	Dif(%)	Leitura 128min	Dif(%)	Leitura 256min	Dif(%)	Descarregamento 16000 para	Dif(%)	Leitura 12800 para 9600	Dif(%)	Leitura 9600 para 6400	Dif(%)	6400 para 3200	Dif(%)	3200 para 0	Dif(%)
Leituras	1,0	0	1,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
Diferença (%)	3,4	3,38	1,0	3,38	0,0	0	100,6	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	4,5	4,48	1,0	4,48	0,0	0	100,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	5,1	5,11	1,0	5,13	40,0	5,15	28,6	0	101,4		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	5,7	5,81	1,0	5,87	46,2	5,91	23,5	5,95	19,0	6	19,2	6,05	16,1	6,08	8,8		105,9		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
	4,8	4,77	1,0	4,8	75,0	4,84	50,0	4,89	38,5	4,89	0,0	4,93	23,5	4,98	22,7	5,07	29,0	5,23	34,0	5,23	0,0	5,23	0,0	5,03	-74,1	4,46	190,0	2,35	87,6

SRTV/S Quadra 701 Bloco K Sala 428 - Edifício Embassy Tower ASA SUL, Brasília-DF
Telefone: (61) 3031-1616 (61) 99690-2080

Def. 3	0,99	0
	1,02	0,04
	1,09	0,08
	1,09	0,22
	1,55	0,57
	2,6	1,62
	2,92	1,53
	2,88	1,43
	3,85	1,21
	3,69	0,98
	1,42	0,44
12h	4,83	0,44

	Tempo	Inicial	Leitura 1min	Dif(%)	Leitura 2min	Dif(%)	Leitura 4min	Dif(%)	Leitura 8min	Dif(%)	Leitura 16min	Dif(%)	Leitura 32min	Dif(%)	Leitura 64min	Dif(%)	Leitura 128min	Dif(%)	Leitura 256min	Dif(%)	Descarregamento 16000 para	Dif(%)	Leitura 12800 para 9600	Dif(%)	Leitura 9600 para 6400	Dif(%)	6400 para 3200	Dif(%)	3200 para 0	Dif(%)
0	Leituras	1,0	0	1,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
3200	Diferença (%)	1,0	1,05	1,0	1,06	25,0	0	103,9	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
6400		1,1	1,12	1,0	1,14	40,0	0	104,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
9600		1,3	1,34	0,2	1,4	19,4	1,3	-47,6	0	119,3		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
12800		1,6	1,64	1,0	1,71	43,8	1,77	27,3	1,81	15,4	1,87	18,8	1,55	#DIV/0!	1,55	#DIV/0!		100,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
16000		2,6	2,69	1,0	2,69	0,0	2,69	0,0	2,69	0,0	2,7	10,0	2,72	16,7	2,72	0,0	2,88	57,1	2,91	9,7	2,92	3,1	2,88	######	2,85	######	2,69	-177,8	1,42	107,6
12800																														
9600																														
6400																														
3200																														
0																														
0																														

SRTV/S Quadra 701 Bloco K Sala 428 - Edifício Embassy Tower ASA SUL, Brasília-DF
Telefone: (61) 3031-1616 (61) 99690-2080

PONTO 3

LAUDO DE SONDAGEM - SPT

TECSOL
Sondagens, Fundações, Projetos e Consultoria

Cliente:	Opção Comércio Atacadista de Materiais de Construção
Local:	Quadra 21 Lotes 21 a 45 - Setor Industrial - Ceilandia DF
Obra:	Projeto de Fundação

Amostrador: SPT 2"	Revestimento: 2 1/2"
Peso do Pilão: 65Kg	Altura de queda: 75cm
Comprim.do Revestimento: 1,00 m	Sondador: GLADSON

(N) PENETRAÇÃO - cm
(NA) NÍVEL D'ÁGUA
(A) NÚMERO DA AMOSTRA
(PG) PERFIL GRÁFICO

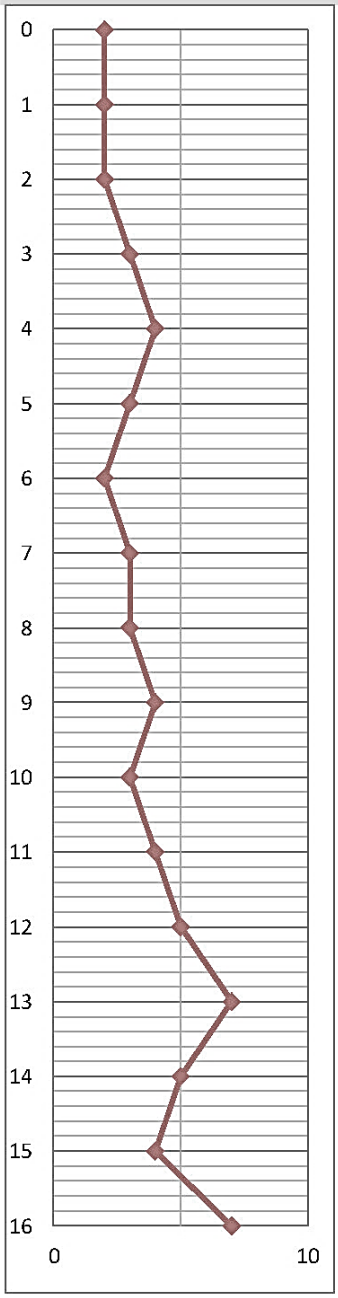
Laudo N° : 100/2018 - 01/02
Data: 11/07/2018
NA: 10,30 m
Limite da Sondagem.: **22,05 m**

Furo
SP 01

Engenheiro responsável:

30cm final	A	Prof (m)	N.A.(m)	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
2 /30	------ 0 ------	0,00 1,00		Aterro de Argila Compactado. MOLE
2 /30	------ 1 ------	1,00 1,45		Aterro de Argila Compactado. MOLE
2 /30	------ 2 ------	2,00 2,45		Aterro de Argila, Com Cascalho. Cor Amarela. MOLE
3 /30	------ 3 ------	3,00 3,45		Aterro de Argila, Com Cascalho. Cor Amarela. MOLE
4 30	4	4,00 4,45		Aterro de Argila, Com Cascalho. Cor Amarela. MOLE
3 30	5	5,00 5,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
2 30	6	6,00 6,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
3 30	7	7,00 7,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
3 30	8	8,00 8,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
4 30	9	9,00 9,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
3 30	10	10,00 10,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
4 30	11	11,00 11,45		Argila Arenosa, Cor Marron Variegado. MOLE
5 30	12	12,00 12,45		Areia, Pouco Argilosa. Cor Marron Variegada. POUCO COMPACTA
7 30	13	13,00 13,45		Areia, Pouco Argilosa. Cor Marron Variegada. POUCO COMPACTA
5 30	14	14,00 14,45		Areia, Pouco Argilosa. Cor Marron Variegada. POUCO COMPACTA
4 30	15	15,00 15,45		Areia, Pouco Argilosa. Cor Marron Variegada. FOFA
7 30	16	16,00 16,45		Areia, Pouco Argilosa. Cor Marron Variegada. POUCO COMPACTA

10,30 m



Rua Goiânia, Quadra 15, lote 03, Parque Araguari II – Cidade Ocidental- GO
CNPJ:13.284.035/0001-41
Telefones (61) 99398-7850/98342-2437/98209-7153
E-mail: tecsol.dantas@hotmail.com

LAUDO DE SONDAGEM - SPT

TecSol
Sondagens, Fundações, Projetos e Consultoria

Cliente:	Opção Comércio Atacadista de Materiais de Construção
Local:	Quadra 21 Lotes 21 a 45 - Setor Industrial - Ceilandia DF
Obra:	Projeto de Fundação

Amostrador: SPT 2"	Revestimento: 2 1/2"
Peso do Pilão: 65Kg	Altura de queda: 75cm
Comprim.do Revestimento: 1,00 m	Sondador: GLADSON

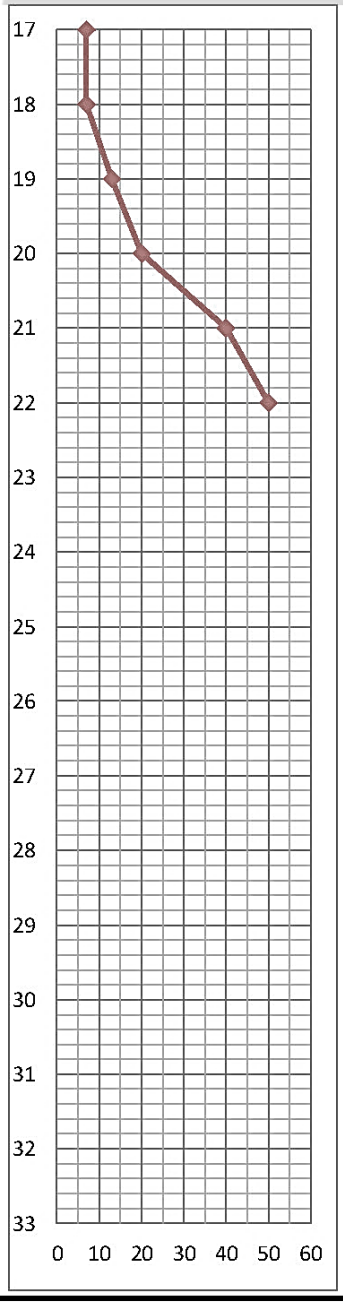
(N) PENETRAÇÃO - cm
(NA) NÍVEL D'ÁGUA
(A) NÚMERO DA AMOSTRA
(PG) PERFIL GRÁFICO

Laudo Nº : 100/2018 - 01/02
Data: 11/07/2018
NA: 10,30 m
Limite da Sondagem.: **22,05 m**

Furo
SP 01
continuacao

Engenheiro responsável:

30cm final	A	Prof (m)	N.A.(m)	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
7 /30	----- 17 -----	17,00 17,45	10,30 m	Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . POUCO COMPACTA
7 /30	----- 18 -----	18,00 18,45		Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . POUCO COMPACTA
13 /30	----- 19 -----	19,00 19,45		Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . MEDIANAMENTE COMPACTA
20 /30	----- 20 -----	20,00 20,45		Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . COMPACTA
40 30	21	21,00 21,45		Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . COMPACTA
50 30	22	22,00 22,05		Areia Siltosa. Cor Marron Variegado . MUITO COMPACTA
				Limite de Sondagem: 50 golpes para penetrar 5 centimetros



Rua Goiânia, Quadra 15, lote 03, Parque Araguari II – Cidade Ocidental- GO
CNPJ:13.284.035/0001-41
Telefones (61) 99398-7850/98342-2437/98209-7153
E-mail: tecsol.dantas@hotmail.com

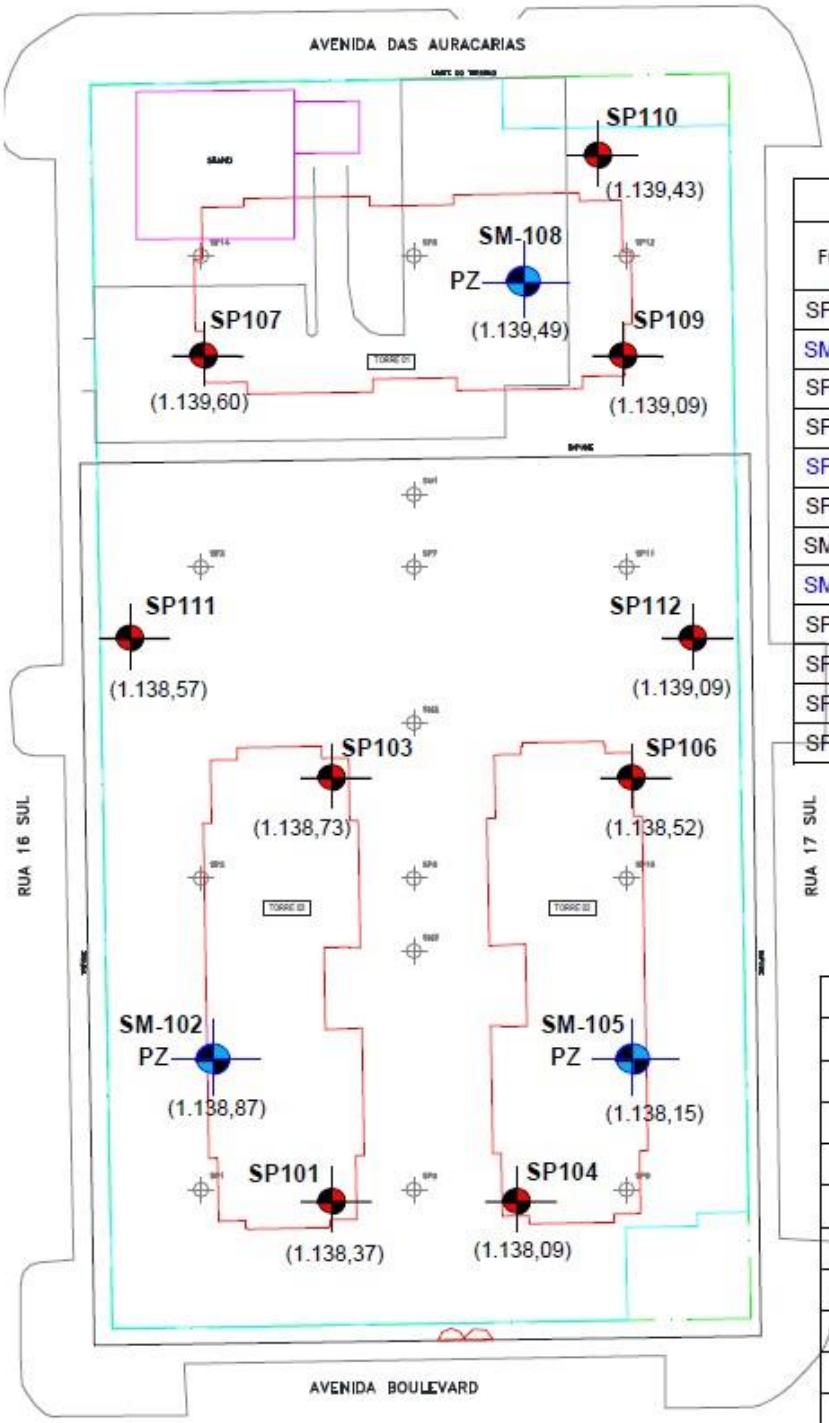
Dados Ensaios Protótipo – 01 Ensaio Ceilândia Ponto 3

ENSAIO 1			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: **3,00 cm**		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Área: **7,07 cm2**		**74,8**	**72,8**
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			**2,0mm**
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm)**	**(kN)**
		X	**Y**
1.382	74,8	0,0	0,01
1.321	74,8	0,0	0,01
1.419	74,8	0,0	0,01
1.616	74,8	0,1	0,02
1.903	74,7	0,1	0,02
2.372	74,7	0,1	0,02
2.805	74,7	0,1	0,03
3.325	74,7	0,2	0,03
3.790	74,6	0,2	0,04
4.351	74,6	0,3	0,04
4.835	74,6	0,3	0,05
5.291	74,5	0,3	0,05
5.790	74,4	0,4	0,06
6.244	74,3	0,5	0,06
6.843	74,3	0,5	0,07
7.317	74,3	0,5	0,07
7.767	74,3	0,6	0,08
8.287	74,3	0,6	0,08
8.786	74,2	0,6	0,09
9.301	74,2	0,6	0,09
9.813	74,1	0,7	0,10
10.407	74,1	0,7	0,10
10.942	74,0	0,8	0,11
11.464	74,0	0,8	0,11
12.006	74,0	0,8	0,12
12.637	74,0	0,9	0,12
13.128	73,9	0,9	0,13
13.711	73,9	1,0	0,13
14.322	73,9	1,0	0,14
14.991	73,9	1,0	0,15
15.533	73,9	1,0	0,15
16.101	73,9	1,0	0,16
16.819	73,9	1,0	0,16
17.596	73,8	1,0	0,17
18.304	73,8	1,0	0,18
19.287	73,8	1,0	0,19
20.123	73,8	1,1	0,20
20.875	73,8	1,1	0,20
21.476	73,7	1,1	0,21
22.396	73,7	1,1	0,22
23.345	73,7	1,2	0,23
24.541	73,7	1,2	0,24
25.796	73,6	1,2	0,25
27.143	73,6	1,2	0,27
28.446	73,6	1,2	0,28

ENSAIO 1			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: **3,00 cm**		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Área: **7,07 cm2**		**74,8**	**72,8**
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			**2,0mm**
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm)**	**(kN)**
		X	**Y**
29.803	73,6	1,3	0,29
31.201	73,5	1,3	0,31
32.683	73,5	1,3	0,32
34.153	73,5	1,3	0,33
35.489	73,4	1,4	0,35
37.060	73,4	1,4	0,36
38.655	73,3	1,5	0,38
40.116	73,3	1,5	0,39
41.581	73,3	1,5	0,41
43.186	73,3	1,6	0,42
44.719	73,3	1,6	0,44
46.287	73,3	1,6	0,45
47.928	73,2	1,6	0,47
49.556	73,2	1,6	0,49
51.007	73,2	1,7	0,50
52.626	73,1	1,7	0,52
54.349	73,2	1,7	0,53
55.948	73,1	1,7	0,55
57.198	73,1	1,7	0,56
58.785	73,1	1,8	0,58
60.308	73,0	1,8	0,59
61.985	72,9	1,9	0,61
63.734	72,9	1,9	0,63
64.957	72,9	1,9	0,64
66.627	72,9	1,9	0,65
68.053	72,9	1,9	0,67
69.675	72,9	2,0	0,68
70.829	72,9	2,0	0,69
72.131	72,9	2,0	0,71
73.463	72,9	2,0	0,72
47.620	72,8	2,0	0,47
51.130	72,8	2,0	0,50
53.473	72,9	2,0	0,52
55.888	72,8	2,0	0,55
58.101	72,8	2,0	0,57
60.323	72,8	2,0	0,59
62.790	72,9	2,0	0,62
65.178	72,8	2,0	0,64
66.909	72,8	2,0	0,66
68.910	72,8	2,0	0,68
70.958	72,8	2,0	0,70
72.941	72,9	2,0	0,72
74.222	72,8	2,0	0,73
39.993	72,8	2,0	0,39
42.725	72,8	2,0	0,42

ENSAIO 1			
DADOS DA PONTEIRA: Diâmetro: **3,00 cm**		COTA INICIAL LVDT:	COTA FINAL LVDT:
Área: **7,07 cm2**		**74,8**	**72,8**
DESLOCAMENTO MÁXIMO NO ENSAIO:			**2,0mm**
DADOS COLETADOS NO ENSAIO		**DESLOCAMENTO**	**CARGA**
CARGA (mg)	DESLOCAM. LVDT (mm)	**(mm)**	**(kN)**
		X	**Y**
45.581	72,8	2,0	0,45
47.956	72,8	2,0	0,47
50.325	72,8	2,0	0,49
52.779	72,8	2,0	0,52
55.328	72,8	2,0	0,54
57.062	72,8	2,0	0,56
59.728	72,8	2,0	0,59
61.917	72,8	2,0	0,61
63.752	72,8	2,0	0,63
65.876	72,8	2,0	0,65
67.892	72,8	2,0	0,67
70.018	72,8	2,0	0,69
72.139	72,8	2,0	0,71
73.789	72,8	2,0	0,72

MANHATTAN SHOPPING, ÁGUAS CLARAS
LAUDO SPT LOCALIZAÇÃO SAPATAS 321 E 316



RESUMO DAS SONDAGENS				
Furo	Data	Profund.	N.A	RN - (cota geodésica)
SP101	JUN/21	13,64m	-6,30m	1.138.370
SM102	JUL/21	21,15m	-6,52m	1.138.870
SP103	JUL/21	11,31m	-6,32m	1.138.730
SP104	JUL/21	14,29m	-6,27m	1.138.090
SP105	JUL/21	22,10m	-6,11m	1.138.150
SP106	JUL/21	14,16m	-6,10m	1.138.520
SM107	JUL/21	9,24m	-5,71m	1.139.600
SM108	JUL/21	18,51m	-5,62m	1.139.490
SP109	JUL/21	8,70m	-5,92m	1.139.090
SP110	JUL/21	9,42m	-5,18m	1.139.430
SP111	JUL/21	12,32m	-6,20m	1.138.570
SP112	JUL/21	12,13m	-5,43m	1.139.090

COORDENADAS		
FURO	X	Y
SP101	1.763.199.014	82.464.877.105
SM102	1.763.308.791	82.464.639.246
SP103	1.763.278.053	82.464.705.847
SP104	1.763.137.538	82.465.010.306
SP105	1.763.152.555	82.464.978.091
SP106	1.763.231.947	82.464.805.748
SM107	1.763.470.967	82.464.288.638
SM108	1.763.444.915	82.464.344.301
SP109	1.763.357.093	82.464.534.589
SP110	1.763.431.741	82.464.372.844
SP111	1.763.419.340	82.464.608.580
SP112	1.763.357.093	82.464.534.589

FUNDEX
Fundações e Recuperação de Estrutura

SONDAGEM A PERCUSSÃO STANDARD SPT/DCPT

Norma Brasileira NBR 6484

SP.107

Folha 1/1

Cliente:	PAULO OCTÁVIO INVESTIMNTOS IMOBILIÁRIOS LTDA	*Obra nº*	210.616
Obra:	SHOPPING MANHATAN		
Local:	RUA 16/17 SUL, LOTES 03, 05, 06 E 08 - ÁGUAS CLARAS - BRASÍLIA-DF	*Sondador*	CLEDO

RN - Cota geodésica fornecida pelo cliente. Amostrador Padrão 2" Pilão: 65 Kg Altura de queda: 75 cm E = 72% | Revest. de 2 1/2" comp.: 2,00m

Início: 12/07/2021 | Término: 12/07/2021

Cota da Boca do Furo =1139,60m

Prof. (m)	2°+3° Pen SPT / cm	Gráfico SPT (N72) 0 10 20 30 40 50	Camada	Revestimento / Nível d'água	CLASSIFICAÇÃO
0,00	- -				Não se executa amostragens no primeiro metro (de 0,0 a 1m)
1,45	6 / 30				M4Sra Média,
2,45	6 / 30				M4Sra Média,
3,45	8 / 30				M4Sra Média, Silte, Pouco Arenosa, Rosa, Amarela, Submersa
4,45	10 / 30				M4Sra Média,
5,45	16 / 30			NA	M4Sra9 Rija,
6,45	25 / 30				M4Sra9 Muito Rija,
7,45	40 / 15				M4Srx9 Dura, Silte, Pouco Arenosa, Rosa, Roxa, Submersa
8,45	40 / 17	9m			M4Srx9 Dura,
9,45	40 / 4	0 10 20 30 40 5010m			N Amostra não recuperada. (Silte)
10,45				N.A. em 12/07/2021 - 5,04m	
11,45					Tempo de Trepanação:
12,45					10min = 7cm
13,45					10min = 4cm
14,45					10min = 1cm
15,45					10min = 1cm
16,45					
17,45					
18,45					
19,45					
20,45					

Limite de Impenetrabilidade ***SPT = 9,11m***

Limite de Impenetrabilidade ***Trepanação = 9,24m***

1ª leitura N.A.: -5,04m em 12/07/2021, às 16:33 hs

2ª leitura N.A.: -5,71m em 20/08/2021, às 16:00 hs

SCIA Quadra 14 - Conjunto 01 - Nº 15 - Brasília/Guará-DF - Cep 71250-105 - Fones 3363-8606 - 3363-8607 - 3363-8609 - Fax 3363-8608 - www.infrasolo.com.br - infrasolo@infrasolo.com.br

MANHATTAN SHOPPING, ÁGUAS CLARAS – SAPATA 321

Dados Ensaios Equipamento Piloto Ensaio Ponto 01 – Sapata 321

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
1,5mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,00	0,0000
	0,01	0,0155
	0,01	0,0206
	0,02	0,0257
	0,03	0,0312
	0,04	0,0381
	0,04	0,0466
	0,05	0,0539
	0,06	0,0619
	0,07	0,0711
	0,07	0,0792
	0,08	0,0902
	0,09	0,0987
	0,10	0,1215
	0,10	0,1199
	0,11	0,1365
	0,12	0,1454
	0,13	0,1568
	0,13	0,1716
	0,14	0,1868
	0,15	0,2026
	0,16	0,2157
	0,16	0,2310
	0,17	0,2481
	0,18	0,2671
	0,18	0,2809
	0,19	0,3012
	0,20	0,3214
	0,21	0,3393
	0,21	0,3594
	0,22	0,3810
	0,23	0,4045
	0,24	0,4264
	0,24	0,4465
	0,25	0,4696
	0,26	0,4929
	0,27	0,5180
	0,27	0,5426
	0,28	0,5947
	0,29	0,5890
	0,30	0,6159
	0,30	0,6414
	0,31	0,6657
	0,32	0,6923
	0,33	0,7186
	0,33	0,7418
	0,34	0,7699
	0,35	0,7972
	0,35	0,8261
	0,36	0,8520
	0,37	0,8809
	0,38	0,9103
	0,38	0,9373
	0,39	0,9685
	0,40	0,9976

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
1,5mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,41	1,0275
	0,41	1,0601
	0,42	1,0914
	0,43	1,1219
	0,44	1,1539
	0,44	1,1869
	0,45	1,2197
	0,46	1,2520
	0,47	1,2848
	0,47	1,3183
	0,48	1,3536
	0,49	1,3840
	0,50	1,4174
	0,50	1,4546
	0,51	1,4874
	0,52	1,5221
	0,52	1,5561
	0,53	1,5887
	0,54	1,6275
	0,55	1,6599
	0,55	1,6962
	0,56	1,7297
	0,57	1,7642
	0,58	1,7981
	0,58	1,8340
	0,59	1,8679
	0,60	1,9032
	0,61	1,9382
	0,61	1,9663
	0,62	2,0048
	0,63	2,0422
	0,64	2,0762
	0,64	2,1105
	0,65	2,1458
	0,66	2,1772
	0,67	2,2106
	0,67	2,2455
	0,68	2,2763
	0,69	2,3117
	0,69	2,3435
	0,70	2,3762
	0,71	2,4063
	0,72	2,4390
	0,72	2,4699
	0,73	2,5030
	0,74	2,5332
	0,75	2,5651
	0,75	2,5948
	0,76	2,6238
	0,77	2,6541
	0,78	2,6847
	0,78	2,7152
	0,79	2,7432
	0,80	2,7725

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
1,5mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,81	2,8012
	0,81	2,8266
	0,82	2,8562
	0,83	2,8833
	0,83	2,9077
	0,84	2,9333
	0,85	2,9579
	0,86	2,9826
	0,86	3,0045
	0,87	3,0225
	0,88	3,0436
	0,89	3,0650
	0,89	3,0846
	0,90	3,1043
	0,91	3,1220
	0,92	3,1368
	0,92	3,1527
	0,93	3,1663
	0,94	3,1779
	0,95	3,1947
	0,95	3,2097
	0,96	3,2241
	0,97	3,2369
	0,98	3,2496
	0,98	3,2620
	0,99	3,2745
	1,00	3,2875
	1,00	3,3003
	1,01	3,3131
	1,02	3,3237
	1,03	3,3380
	1,03	3,3469
	1,04	3,3543
	1,05	3,3647
	1,06	3,3732
	1,06	3,3819
	1,07	3,3881
	1,08	3,3934
	1,09	3,3971
	1,09	3,4029
	1,10	3,4094
	1,11	3,4145
	1,12	3,4171
	1,12	3,4210
	1,13	3,4239
	1,14	3,4280
	1,15	3,4307
	1,15	3,4340
	1,16	3,4341
	1,17	3,4357
	1,17	3,4375
	1,18	3,4384
	1,19	3,4391
	1,20	3,4393

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
1,5mm	DESLOCAM.	CARGA
	1,20	3,4397
	1,21	3,4400
	1,22	3,4401
	1,23	3,4401
	1,23	3,4401
	1,24	3,4402
	1,25	3,4404
	1,26	3,4405
	1,26	3,4406
	1,27	3,4412
	1,28	3,4412
	1,29	3,4412
	1,29	3,4413
	1,30	3,4413
	1,31	3,4414
	1,32	3,4414
	1,32	3,4415
	1,33	3,4415
	1,34	3,4416
	1,34	3,4416
	1,35	3,4416
	1,36	3,4417
	1,37	3,4417
	1,37	3,4417
	1,38	3,4418
	1,39	3,4418
	1,40	3,4419
	1,40	3,4419
	1,41	3,4419
	1,42	3,4420
	1,43	3,4421
	1,43	3,4421
	1,44	3,4422
	1,45	3,4422
	1,46	3,4422
	1,46	3,4422
	1,47	3,4423
	1,48	3,4423
	1,49	3,4424
	1,49	3,4425
	1,50	3,4426

Dados Ensaios Equipamento Piloto Ensaio Ponto 02 – Sapata 321

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
0,7mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,00	0,0000
	0,00	0,0155
	0,01	0,0206
	0,01	0,0213
	0,02	0,0277
	0,02	0,0338
	0,03	0,0398
	0,03	0,0478
	0,04	0,0569
	0,04	0,0659
	0,04	0,0765
	0,05	0,0898
	0,05	0,1018
	0,06	0,1135
	0,06	0,1295
	0,07	0,1447
	0,07	0,1648
	0,08	0,1807
	0,08	0,1987
	0,08	0,2193
	0,09	0,2405
	0,09	0,2612
	0,10	0,2814
	0,10	0,3081
	0,11	0,3305
	0,11	0,3568
	0,12	0,3791
	0,12	0,4066
	0,12	0,4323
	0,13	0,4616
	0,13	0,4871
	0,14	0,5183
	0,14	0,5484
	0,15	0,5830
	0,15	0,6097
	0,16	0,6442
	0,16	0,6746
	0,16	0,7086
	0,17	0,7416
	0,17	0,7755
	0,18	0,8102
	0,18	0,8451
	0,19	0,8826
	0,19	0,9165
	0,20	0,9571
	0,20	0,9994
	0,21	1,0419
	0,21	1,0854
	0,21	1,1315
	0,22	1,1780
	0,22	1,2239
	0,23	1,2716
	0,23	1,3200
	0,24	1,3679
	0,24	1,4176
	0,25	1,4639

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
0,7mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,25	1,5134
	0,25	1,5632
	0,26	1,6128
	0,26	1,6590
	0,27	1,7124
	0,27	1,7613
	0,28	1,8109
	0,28	1,8618
	0,29	1,9132
	0,29	1,9623
	0,29	2,0131
	0,30	2,0642
	0,30	2,1143
	0,31	2,1650
	0,31	2,2156
	0,32	2,2661
	0,32	2,3151
	0,33	2,3600
	0,33	2,4092
	0,33	2,4580
	0,34	2,5052
	0,34	2,5509
	0,35	2,5988
	0,35	2,6415
	0,36	2,6851
	0,36	2,7276
	0,37	2,7731
	0,37	2,8138
	0,37	2,8514
	0,38	2,8908
	0,38	2,9297
	0,39	2,9634
	0,39	2,9966
	0,40	3,0276
	0,40	3,0599
	0,41	3,0897
	0,41	3,1166
	0,41	3,1417
	0,42	3,1663
	0,42	3,1914
	0,43	3,2125
	0,43	3,2337
	0,44	3,2539
	0,44	3,2705
	0,45	3,2883
	0,45	3,3059
	0,45	3,3197
	0,46	3,3342
	0,46	3,3486
	0,47	3,3620
	0,47	3,3755
	0,48	3,3869
	0,48	3,3981
	0,49	3,4080
	0,49	3,4170
	0,49	3,4254

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	X (mm)	Y (kN)
0,7mm	DESLOCAM.	CARGA
	0,50	3,4329
	0,50	3,4407
	0,51	3,4492
	0,51	3,4546
	0,52	3,4587
	0,52	3,4628
	0,53	3,4689
	0,53	3,4719
	0,54	3,4767
	0,54	3,4804
	0,54	3,4827
	0,55	3,4858
	0,55	3,4903
	0,56	3,4943
	0,56	3,4945
	0,57	3,4966
	0,57	3,4972
	0,58	3,5010
	0,58	3,5020
	0,58	3,5092
	0,59	3,5047
	0,59	3,5022
	0,60	3,5031
	0,60	3,5050
	0,61	3,5048
	0,61	3,5036
	0,62	3,5059
	0,62	3,5058
	0,62	3,5050
	0,63	3,5048
	0,63	3,5058
	0,64	3,5070
	0,64	3,5071
	0,65	3,5065
	0,65	3,5084
	0,66	3,5092
	0,66	3,5084
	0,66	3,5093
	0,67	3,5075
	0,67	3,5091
	0,68	3,5089
	0,68	3,5088
	0,69	3,5087
	0,69	3,5085
	0,70	3,5100
	0,70	3,5110

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 03 – Sapata 321

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,2mm	2,2mm	2,2mm	2,2mm

X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA
0,00	0,0000	0,61	1,5134	1,22	3,4329	1,82	14,5110
0,01	0,0163	0,62	1,5632	1,23	3,4407	1,83	15,5110
0,02	0,0194	0,63	1,6128	1,24	3,4492	1,85	16,5110
0,03	0,0213	0,64	1,6590	1,25	3,4546	1,86	17,5110
0,04	0,0277	0,65	1,7124	1,26	3,4587	1,87	18,5110
0,05	0,0338	0,66	1,7613	1,27	3,4628	1,88	19,5110
0,07	0,0398	0,67	1,8109	1,28	3,4689	1,89	20,5110
0,08	0,0478	0,68	1,8618	1,29	3,4719	1,90	21,5110
0,09	0,0569	0,69	1,9132	1,30	3,4767	1,91	22,5110
0,10	0,0659	0,71	1,9623	1,31	3,4804	1,92	23,5110
0,11	0,0765	0,72	2,0131	1,32	3,4827	1,93	24,5110
0,12	0,0898	0,73	2,0642	1,34	3,4858	1,94	25,5110
0,13	0,1018	0,74	2,1143	1,35	3,4903	1,95	26,5110
0,14	0,1135	0,75	2,1650	1,36	3,4943	1,96	27,5110
0,15	0,1295	0,76	2,2156	1,37	3,4945	1,98	28,5110
0,16	0,1447	0,77	2,2661	1,38	3,4966	1,99	29,5110
0,17	0,1648	0,78	2,3151	1,39	3,4972	2,00	30,5110
0,18	0,1807	0,79	2,3600	1,40	3,5010	2,01	31,5110
0,20	0,1987	0,80	2,4092	1,41	3,5020	2,02	32,5110
0,21	0,2193	0,81	2,4580	1,42	3,5092	2,03	33,5110
0,22	0,2405	0,82	2,5052	1,43	3,5047	2,04	34,5110
0,23	0,2612	0,84	2,5509	1,44	3,5022	2,05	35,5110
0,24	0,2814	0,85	2,5988	1,45	3,5031	2,06	36,5110
0,25	0,3081	0,86	2,6415	1,47	3,5050	2,07	37,5110
0,26	0,3305	0,87	2,6851	1,48	3,5048	2,08	38,5110
0,27	0,3568	0,88	2,7276	1,49	3,5036	2,09	39,5110
0,28	0,3791	0,89	2,7731	1,50	3,5059	2,11	40,5110
0,29	0,4066	0,90	2,8138	1,51	3,5058	2,12	41,5110
0,30	0,4323	0,91	2,8514	1,52	3,5050	2,13	42,5110
0,31	0,4616	0,92	2,8908	1,53	3,5048	2,14	43,5110
0,33	0,4871	0,93	2,9297	1,54	3,5058	2,15	44,5110
0,34	0,5183	0,94	2,9634	1,55	3,5070	2,16	45,5110
0,35	0,5484	0,96	2,9966	1,56	3,5071	2,17	46,5110
0,36	0,5830	0,97	3,0276	1,57	3,5065	2,18	47,5110
0,37	0,6097	0,98	3,0599	1,58	3,5084	2,19	48,5110
0,38	0,6442	0,99	3,0897	1,60	3,5092	2,20	49,5110
0,39	0,6746	1,00	3,1166	1,61	3,5084	2,21	50,5110
0,40	0,7086	1,01	3,1417	1,62	3,5093	2,23	51,5110
0,41	0,7416	1,02	3,1663	1,63	3,5075		
0,42	0,7755	1,03	3,1914	1,64	3,5091		
0,43	0,8102	1,04	3,2125	1,65	3,5089		
0,45	0,8451	1,05	3,2337	1,66	3,5088		
0,46	0,8826	1,06	3,2539	1,67	3,5087		
0,47	0,9165	1,07	3,2705	1,68	3,5085		
0,48	0,9571	1,09	3,2883	1,69	3,5100		
0,49	0,9994	1,10	3,3059	1,70	3,5110		
0,50	1,0419	1,11	3,3197	1,71	4,5110		
0,51	1,0854	1,12	3,3342	1,73	5,5110		
0,52	1,1315	1,13	3,3486	1,74	6,5110		
0,53	1,1780	1,14	3,3620	1,75	7,5110		
0,54	1,2239	1,15	3,3755	1,76	8,5110		
0,55	1,2716	1,16	3,3869	1,77	9,5110		
0,56	1,3200	1,17	3,3981	1,78	10,5110		
0,58	1,3679	1,18	3,4080	1,79	11,5110		
0,59	1,4176	1,19	3,4170	1,80	12,5110		
0,60	1,4639	1,20	3,4254	1,81	13,5110		

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 04 – Sapata 321

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:	DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
3,0mm	3,0mm	3,0mm	3,0mm

X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA	X (mm) DESLOCAM.	Y (kN) CARGA
0,00	0,0000	0,89	1,5134	1,78	3,4329	2,67	14,5110
0,02	0,0126	0,91	1,5632	1,80	3,4407	2,69	15,5110
0,03	0,0130	0,92	1,6128	1,81	3,4492	2,70	16,5110
0,05	0,0213	0,94	1,6590	1,83	3,4546	2,72	17,5110
0,06	0,0277	0,95	1,7124	1,85	3,4587	2,74	18,5110
0,08	0,0338	0,97	1,7613	1,86	3,4628	2,75	19,5110
0,10	0,0398	0,99	1,8109	1,88	3,4689	2,77	20,5110
0,11	0,0478	1,00	1,8618	1,89	3,4719	2,78	21,5110
0,13	0,0569	1,02	1,9132	1,91	3,4767	2,80	22,5110
0,14	0,0659	1,03	1,9623	1,93	3,4804	2,82	23,5110
0,16	0,0765	1,05	2,0131	1,94	3,4827	2,83	24,5110
0,18	0,0898	1,07	2,0642	1,96	3,4858	2,85	25,5110
0,19	0,1018	1,08	2,1143	1,97	3,4903	2,86	26,5110
0,21	0,1135	1,10	2,1650	1,99	3,4943	2,88	27,5110
0,22	0,1295	1,11	2,2156	2,00	3,4945	2,90	28,5110
0,24	0,1447	1,13	2,2661	2,02	3,4966	2,91	29,5110
0,25	0,1648	1,15	2,3151	2,04	3,4972	2,93	30,5110
0,27	0,1807	1,16	2,3600	2,05	3,5010	2,94	31,5110
0,29	0,1987	1,18	2,4092	2,07	3,5020	2,96	32,5110
0,30	0,2193	1,19	2,4580	2,08	3,5092	2,98	33,5110
0,32	0,2405	1,21	2,5052	2,10	3,5047		
0,33	0,2612	1,23	2,5509	2,12	3,5022		
0,35	0,2814	1,24	2,5988	2,13	3,5031		
0,37	0,3081	1,26	2,6415	2,15	3,5050		
0,38	0,3305	1,27	2,6851	2,16	3,5048		
0,40	0,3568	1,29	2,7276	2,18	3,5036		
0,41	0,3791	1,30	2,7731	2,20	3,5059		
0,43	0,4066	1,32	2,8138	2,21	3,5058		
0,45	0,4323	1,34	2,8514	2,23	3,5050		
0,46	0,4616	1,35	2,8908	2,24	3,5048		
0,48	0,4871	1,37	2,9297	2,26	3,5058		
0,49	0,5183	1,38	2,9634	2,28	3,5070		
0,51	0,5484	1,40	2,9966	2,29	3,5071		
0,53	0,5830	1,42	3,0276	2,31	3,5065		
0,54	0,6097	1,43	3,0599	2,32	3,5084		
0,56	0,6442	1,45	3,0897	2,34	3,5092		
0,57	0,6746	1,46	3,1166	2,35	3,5084		
0,59	0,7086	1,48	3,1417	2,37	3,5093		
0,60	0,7416	1,50	3,1663	2,39	3,5075		
0,62	0,7755	1,51	3,1914	2,40	3,5091		
0,64	0,8102	1,53	3,2125	2,42	3,5089		
0,65	0,8451	1,54	3,2337	2,43	3,5088		
0,67	0,8826	1,56	3,2539	2,45	3,5087		
0,68	0,9165	1,58	3,2705	2,47	3,5085		
0,70	0,9571	1,59	3,2883	2,48	3,5100		
0,72	0,9994	1,61	3,3059	2,50	3,5110		
0,73	1,0419	1,62	3,3197	2,51	4,5110		
0,75	1,0854	1,64	3,3342	2,53	5,5110		
0,76	1,1315	1,65	3,3486	2,55	6,5110		
0,78	1,1780	1,67	3,3620	2,56	7,5110		
0,80	1,2239	1,69	3,3755	2,58	8,5110		
0,81	1,2716	1,70	3,3869	2,59	9,5110		
0,83	1,3200	1,72	3,3981	2,61	10,5110		
0,84	1,3679	1,73	3,4080	2,63	11,5110		
0,86	1,4176	1,75	3,4170	2,64	12,5110		
0,88	1,4639	1,77	3,4254	2,66	13,5110		

MANHATTAN SHOPPING, ÁGUAS CLARAS – SAPATA 316

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 01 – Sapata 316

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,3mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,15	2,1070
1,16	2,1319
1,18	2,1572
1,19	2,1815
1,20	2,2071
1,21	2,2294
1,22	2,2537
1,23	2,2791
1,24	2,2971
1,25	2,3224
1,26	2,3459
1,27	2,3698
1,28	2,3929
1,29	2,4154
1,30	2,4283
1,31	2,4436
1,32	2,4754
1,33	2,5005
1,34	2,5182
1,35	2,5414
1,37	2,5630
1,38	2,5827
1,39	2,6050
1,40	2,6275
1,41	2,6489
1,42	2,6697
1,43	2,6883
1,44	2,7095
1,45	2,7305
1,46	2,7500
1,47	2,7681
1,48	2,7890
1,49	2,8092
1,50	2,8292
1,51	2,8509
1,52	2,8716
1,53	2,8918
1,55	2,9131
1,56	2,9349
1,57	2,9595
1,58	3,0267
1,59	2,9920
1,60	3,0222
1,61	3,0448
1,62	3,0648
1,63	3,0857
1,64	3,1052
1,65	3,1284
1,66	3,1492
1,67	3,1720
1,68	3,1925
1,69	3,2128
1,70	3,2326
1,71	3,2517

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,3mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,58	0,8187
0,59	0,8398
0,60	0,8594
0,61	0,8785
0,62	0,8974
0,64	0,9205
0,65	0,9399
0,66	0,9594
0,67	0,9818
0,68	1,0016
0,69	1,0238
0,70	1,0444
0,71	1,0656
0,72	1,0891
0,73	1,1093
0,74	1,1323
0,75	1,1535
0,76	1,1768
0,77	1,1968
0,78	1,2210
0,79	1,2419
0,80	1,2645
0,82	1,2901
0,83	1,3139
0,84	1,3374
0,85	1,3646
0,86	1,3878
0,87	1,4143
0,88	1,4400
0,89	1,4654
0,90	1,4926
0,91	1,5176
0,92	1,5445
0,93	1,5707
0,94	1,5986
0,95	1,6249
0,96	1,6509
0,97	1,6762
0,98	1,7012
1,00	1,7282
1,01	1,7541
1,02	1,7792
1,03	1,8047
1,04	1,8316
1,05	1,8565
1,06	1,8838
1,07	1,9079
1,08	1,9332
1,09	1,9565
1,10	1,9815
1,11	2,0072
1,12	2,0306
1,13	2,0563
1,14	2,0834

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,3mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,00	0,0184
0,01	0,0239
0,02	0,0305
0,03	0,0381
0,04	0,0466
0,05	0,0554
0,06	0,0652
0,07	0,0747
0,08	0,0851
0,10	0,0944
0,11	0,1053
0,12	0,1173
0,13	0,1288
0,14	0,1400
0,15	0,1506
0,16	0,1620
0,17	0,1754
0,18	0,1881
0,19	0,1983
0,20	0,2137
0,21	0,2267
0,22	0,2414
0,23	0,2562
0,24	0,2707
0,25	0,2870
0,26	0,3004
0,28	0,3143
0,29	0,3296
0,30	0,3466
0,31	0,3610
0,32	0,3772
0,33	0,3910
0,34	0,4086
0,35	0,4237
0,36	0,4388
0,37	0,4563
0,38	0,4721
0,39	0,4882
0,40	0,5035
0,41	0,5218
0,42	0,5414
0,43	0,5586
0,44	0,5744
0,46	0,5924
0,47	0,6093
0,48	0,6290
0,49	0,6444
0,50	0,6669
0,51	0,6868
0,52	0,7038
0,53	0,7225
0,54	0,7418
0,55	0,7617
0,56	0,7790
0,57	0,7978

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,3mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,73	3,2723
1,74	3,2911
1,75	3,3113
1,76	3,3281
1,77	3,3188
1,78	3,3229
1,79	3,3752
1,80	3,3641
1,81	3,3948
1,82	3,4120
1,83	3,4247
1,84	3,4332
1,85	3,4430
1,86	3,4520
1,87	3,4603
1,88	3,4694
1,89	3,4775
1,91	3,4838
1,92	3,4914
1,93	3,4975
1,94	3,5028
1,95	3,5071
1,96	3,5128
1,97	3,5176
1,98	3,5220
1,99	3,5269
2,00	3,5292
2,01	3,5347
2,02	3,5364
2,03	3,5389
2,04	3,5417
2,05	3,5425
2,06	3,5457
2,07	3,5474
2,09	3,5514
2,10	3,5532
2,11	3,5562
2,12	3,5589
2,13	3,5622
2,14	3,5639
2,15	3,5665
2,16	3,5688
2,17	3,5737

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 02 – Sapata 316

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
1,2mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,00	0,0165
0,00	0,0216
0,01	0,0292
0,01	0,0385
0,02	0,0461
0,02	0,0538
0,03	0,0644
0,03	0,0772
0,04	0,0851
0,04	0,0998
0,05	0,1071
0,05	0,1192
0,06	0,1319
0,06	0,1445
0,07	0,1565
0,07	0,1695
0,08	0,1813
0,08	0,1948
0,09	0,2073
0,09	0,2202
0,10	0,2348
0,10	0,2500
0,11	0,2637
0,11	0,2774
0,12	0,2927
0,12	0,3088
0,13	0,3253
0,13	0,3428
0,14	0,3597
0,14	0,3774
0,15	0,3996
0,15	0,4158
0,16	0,4377
0,16	0,4590
0,17	0,4810
0,17	0,5009
0,18	0,5215
0,18	0,5470
0,19	0,5709
0,19	0,5926
0,20	0,6150
0,20	0,6399
0,20	0,6643
0,21	0,6866
0,21	0,7123
0,22	0,7376
0,22	0,7611
0,23	0,7878
0,23	0,8138
0,24	0,8370
0,24	0,8668
0,25	0,8936
0,25	0,9217
0,26	0,9515
0,26	0,9821

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
1,2mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,00	0,0165
0,00	0,0216
0,01	0,0292
0,01	0,0385
0,02	0,0461
0,02	0,0538
0,03	0,0644
0,03	0,0772
0,04	0,0851
0,04	0,0998
0,05	0,1071
0,05	0,1192
0,06	0,1319
0,06	0,1445
0,07	0,1565
0,07	0,1695
0,08	0,1813
0,08	0,1948
0,09	0,2073
0,09	0,2202
0,10	0,2348
0,10	0,2500
0,11	0,2637
0,11	0,2774
0,12	0,2927
0,12	0,3088
0,13	0,3253
0,13	0,3428
0,14	0,3597
0,14	0,3774
0,15	0,3996
0,15	0,4158
0,16	0,4377
0,16	0,4590
0,17	0,4810
0,17	0,5009
0,18	0,5215
0,18	0,5470
0,19	0,5709
0,19	0,5926
0,20	0,6150
0,20	0,6399
0,20	0,6643
0,21	0,6866
0,21	0,7123
0,22	0,7376
0,22	0,7611
0,23	0,7878
0,23	0,8138
0,24	0,8370
0,24	0,8668
0,25	0,8936
0,25	0,9217
0,26	0,9515
0,26	0,9821

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
1,2mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,27	1,0126
0,27	1,0427
0,28	1,0731
0,28	1,1081
0,29	1,1383
0,29	1,1735
0,30	1,2053
0,30	1,2373
0,31	1,2719
0,31	1,3049
0,32	1,3369
0,32	1,3698
0,33	1,4027
0,33	1,4366
0,34	1,4660
0,34	1,5009
0,35	1,5315
0,35	1,5673
0,36	1,5990
0,36	1,6310
0,37	1,6638
0,37	1,6981
0,38	1,7284
0,38	1,7613
0,39	1,7924
0,39	1,8240
0,40	1,8535
0,40	1,8838
0,40	1,9135
0,41	1,9446
0,41	1,9736
0,42	2,0032
0,42	2,0325
0,43	2,0582
0,43	2,0853
0,44	2,1069
0,44	2,1366
0,45	2,1647
0,45	2,1901
0,46	2,2167
0,46	2,2441
0,47	2,2686
0,47	2,2940
0,48	2,3192
0,48	2,3427
0,49	2,3674
0,49	2,3912
0,50	2,4149
0,50	2,4394
0,51	2,4626
0,51	2,4851
0,52	2,5069
0,52	2,5303
0,53	2,5537

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
1,2mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,80	3,3737
0,80	3,3753
0,80	3,3789
0,81	3,3839
0,81	3,3868
0,82	3,3906
0,82	3,3935
0,83	3,3984
0,83	3,4022
0,84	3,4069
0,84	3,4079
0,85	3,4117
0,85	3,4180
0,86	3,4198
0,86	3,4232
0,87	3,4273
0,87	3,4300
0,88	3,4341
0,88	3,4380
0,89	3,4418
0,89	3,4452
0,90	3,4501
0,90	3,4525
0,91	3,4565
0,91	3,4611
0,92	3,4633
0,92	3,4679
0,93	3,4715
0,93	3,4769
0,94	3,4802
0,94	3,4832
0,95	3,4863
0,95	3,4908
0,96	3,4957
0,96	3,4972
0,97	3,5017
0,97	3,5042
0,98	3,5081
0,98	3,5085
0,99	3,5139
0,99	3,5147
1,00	3,5170
1,00	3,5219

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 03 – Sapata 316

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,00	0,0166
0,01	0,0216
0,02	0,0287
0,03	0,0395
0,04	0,0502
0,05	0,0623
0,06	0,0741
0,07	0,0898
0,08	0,1041
0,09	0,1168
0,10	0,1326
0,11	0,1473
0,12	0,1625
0,12	0,1781
0,13	0,1951
0,14	0,2107
0,15	0,2296
0,16	0,2454
0,17	0,2642
0,18	0,2797
0,19	0,3000
0,20	0,3183
0,21	0,3362
0,22	0,3582
0,23	0,3778
0,24	0,3959
0,25	0,4167
0,26	0,4388
0,27	0,4584
0,28	0,4784
0,29	0,4972
0,30	0,5197
0,31	0,5422
0,32	0,5642
0,33	0,5840
0,34	0,6071
0,35	0,6290
0,36	0,6525
0,36	0,6730
0,37	0,6953
0,38	0,7190
0,39	0,7414
0,40	0,7644
0,41	0,7881
0,42	0,8113
0,43	0,8349
0,44	0,8586
0,45	0,8816
0,46	0,9070
0,47	0,9290
0,48	0,9526
0,49	0,9778
0,50	1,0021
0,51	1,0281
0,52	1,0504

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,53	1,0749
0,54	1,0972
0,55	1,1220
0,56	1,1463
0,57	1,1710
0,58	1,1950
0,59	1,2200
0,60	1,2438
0,60	1,2692
0,61	1,2946
0,62	1,3181
0,63	1,3450
0,64	1,3679
0,65	1,3967
0,66	1,4219
0,67	1,4486
0,68	1,4742
0,69	1,4996
0,70	1,5258
0,71	1,5527
0,72	1,5785
0,73	1,6051
0,74	1,6323
0,75	1,6577
0,76	1,6853
0,77	1,7114
0,78	1,7370
0,79	1,7622
0,80	1,7855
0,81	1,8131
0,82	1,8371
0,83	1,8617
0,84	1,8845
0,84	1,9083
0,85	1,9339
0,86	1,9584
0,87	1,9820
0,88	2,0066
0,89	2,0320
0,90	2,0548
0,91	2,0788
0,92	2,1026
0,93	2,1252
0,94	2,1488
0,95	2,1737
0,96	2,1933
0,97	2,2180
0,98	2,2407
0,99	2,2637
1,00	2,2835
1,01	2,3027
1,02	2,3232
1,03	2,3445
1,04	2,3633

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,05	2,3826
1,06	2,4017
1,07	2,4222
1,08	2,4408
1,08	2,4614
1,09	2,4813
1,10	2,5020
1,11	2,5191
1,12	2,5400
1,13	2,5568
1,14	2,5756
1,15	2,5934
1,16	2,6106
1,17	2,6270
1,18	2,6456
1,19	2,6627
1,20	2,6815
1,21	2,6986
1,22	2,7160
1,23	2,7328
1,24	2,7531
1,25	2,7689
1,26	2,7878
1,27	2,8055
1,28	2,8237
1,29	2,8421
1,30	2,8597
1,31	2,8773
1,31	2,8941
1,32	2,9119
1,33	2,9290
1,34	2,9486
1,35	2,9633
1,36	2,9805
1,37	2,9987
1,38	3,0142
1,39	3,0312
1,40	3,0467
1,41	3,0624
1,42	3,0768
1,43	3,0936
1,44	3,1082
1,45	3,1244
1,46	3,1401
1,47	3,1554
1,48	3,1726
1,49	3,1892
1,50	3,2011
1,51	3,2171
1,52	3,2312
1,53	3,2464
1,54	3,2620
1,55	3,2786
1,55	3,2914

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
2,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,56	3,3061
1,57	3,3196
1,58	3,3337
1,59	3,3482
1,60	3,3613
1,61	3,3752
1,62	3,3877
1,63	3,4013
1,64	3,4126
1,65	3,4231
1,66	3,4339
1,67	3,4443
1,68	3,4545
1,69	3,4627
1,70	3,4715
1,71	3,4809
1,72	3,4856
1,73	3,4940
1,74	3,5015
1,75	3,5064
1,76	3,5122
1,77	3,5169
1,78	3,5225
1,79	3,5252
1,79	3,5268
1,80	3,5285
1,81	3,5322
1,82	3,5345
1,83	3,5372
1,84	3,5407
1,85	3,5455
1,86	3,5503
1,87	3,5554
1,88	3,5629
1,89	3,5663
1,90	3,5664
1,91	3,5672
1,92	3,5716
1,93	3,5755
1,94	3,5804
1,95	3,5827
1,96	3,5877
1,97	3,5915

Dados Ensaios Equipamento Piloto
Ensaio Ponto 04 – Sapata 316

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
3,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,00	0,0183
0,01	0,0236
0,02	0,0312
0,03	0,0371
0,04	0,0455
0,05	0,0511
0,06	0,0607
0,08	0,0670
0,09	0,0764
0,10	0,0843
0,11	0,0912
0,12	0,1041
0,13	0,1153
0,14	0,1257
0,15	0,1364
0,16	0,1498
0,17	0,1595
0,18	0,1729
0,19	0,1863
0,20	0,1967
0,21	0,2097
0,23	0,2222
0,24	0,2364
0,25	0,2480
0,26	0,2645
0,27	0,2797
0,28	0,2936
0,29	0,3088
0,30	0,3256
0,31	0,3422
0,32	0,3590
0,33	0,3737
0,34	0,3901
0,35	0,4049
0,36	0,4233
0,38	0,4388
0,39	0,4539
0,40	0,4696
0,41	0,4828
0,42	0,4964
0,43	0,5133
0,44	0,5284
0,45	0,5429
0,46	0,5552
0,47	0,5715
0,48	0,5859
0,49	0,5986
0,50	0,6153
0,51	0,6272
0,53	0,6381
0,54	0,6514
0,55	0,6664
0,56	0,6815
0,57	0,6935
0,58	0,7059

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
3,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
0,59	0,7193
0,60	0,7348
0,61	0,7477
0,62	0,7616
0,63	0,7744
0,64	0,7874
0,65	0,8022
0,66	0,8147
0,68	0,8281
0,69	0,8419
0,70	0,8537
0,71	0,8699
0,72	0,8802
0,73	0,8964
0,74	0,9099
0,75	0,9225
0,76	0,9382
0,77	0,9510
0,78	0,9658
0,79	0,9785
0,80	0,9909
0,81	1,0075
0,83	1,0179
0,84	1,0323
0,85	1,0456
0,86	1,0590
0,87	1,0706
0,88	1,0835
0,89	1,1001
0,90	1,1120
0,91	1,1244
0,92	1,1392
0,93	1,1514
0,94	1,1652
0,95	1,1787
0,96	1,1919
0,98	1,2084
0,99	1,2245
1,00	1,2391
1,01	1,2547
1,02	1,2687
1,03	1,2881
1,04	1,3024
1,05	1,3193
1,06	1,3340
1,07	1,3495
1,08	1,3652
1,09	1,3830
1,10	1,3984
1,11	1,4141
1,13	1,4307
1,14	1,4464
1,15	1,4625
1,16	1,4799

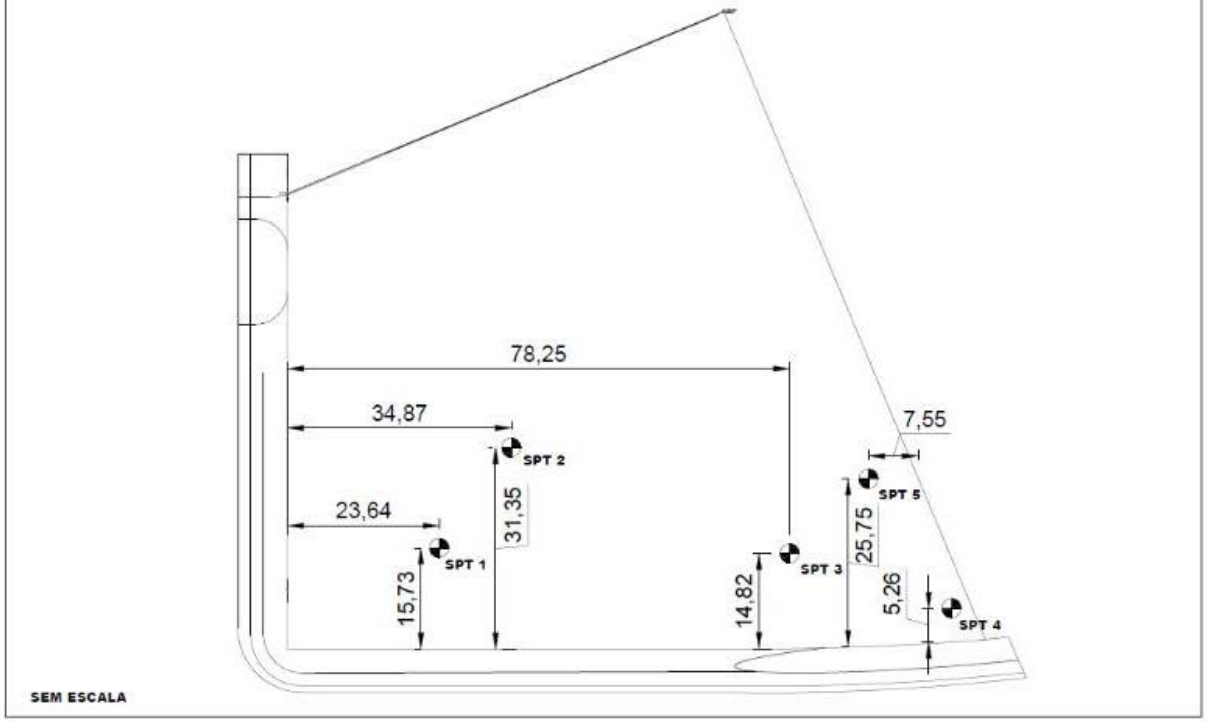
DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
3,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,17	1,4960
1,18	1,5125
1,19	1,5277
1,20	1,5468
1,21	1,5568
1,22	1,5736
1,23	1,5889
1,24	1,6042
1,25	1,6208
1,26	1,6359
1,28	1,6506
1,29	1,6682
1,30	1,6796
1,31	1,6978
1,32	1,7111
1,33	1,7265
1,34	1,7401
1,35	1,7572
1,36	1,7723
1,37	1,7876
1,38	1,8020
1,39	1,8174
1,40	1,8321
1,41	1,8460
1,43	1,8621
1,44	1,8761
1,45	1,8907
1,46	1,9047
1,47	1,9201
1,48	1,9334
1,49	1,9480
1,50	1,9635
1,51	1,9780
1,52	1,9913
1,53	2,0060
1,54	2,0189
1,55	2,0331
1,56	2,0477
1,58	2,0620
1,59	2,0765
1,60	2,0900
1,61	2,1032
1,62	2,1183
1,63	2,1317
1,64	2,1461
1,65	2,1588
1,66	2,1746
1,67	2,1885
1,68	2,2001
1,69	2,2149
1,70	2,2274
1,71	2,2426
1,73	2,2563
1,74	2,2682

DESLOCAM. MÁX. NO ENSAIO:
3,1mm

X (mm)	Y (kN)
DESLOCAM.	CARGA
1,75	2,2813
1,76	2,2958
1,77	2,3087
1,78	2,3207
1,79	2,3336
1,80	2,3464
1,81	2,3615
1,82	2,3718
1,83	2,3837
1,84	2,4326
1,85	2,4020
1,86	2,4207
1,88	2,4322
1,89	2,4466
1,90	2,4574
1,91	2,4709
1,92	2,4830
1,93	2,4963
1,94	2,5086
1,95	2,5229
1,96	2,5355
1,97	2,5453
1,98	2,5600
1,99	2,5701
2,00	2,5822
2,01	2,5950
2,03	2,6073
2,04	2,6192
2,05	2,6304
2,06	2,6416
2,07	2,6540
2,08	2,6651
2,09	2,6775
2,10	2,6873
2,11	2,6999
2,12	2,7138
2,13	2,7223
2,14	2,7344
2,15	2,7460
2,16	2,7587
2,18	2,7678
2,19	2,7806
2,20	2,7905

CROQUI DE LOCAÇÃO DE SONDAGEM SPT
Av. Araucárias, Lote 365 - Águas Claras - DF



PERFIL INDIVIDUAL
BONDAO EM MISTA

SPT 02

CLIENTE: Stylos Engenharia S.A
OBRA: Av. Araucárias, Lote 365.
LOCAL: Águas Claras - D.F

COTA: 1134	INC:	DATA:	25/08/21
COORDENADAS	DIR:	FOLHA:	01/01
N: 8224752	INÍCIO: 24/08/21	REVISÃO:	Inicial
E: 818946	TÉRMINO: 24/08/21	RESP. TÉC.:	ENG. HEROLDO REZENDE
FUSO: 22 L	REF.: PSI02_21		

ESCALA	DIÂMETRO DO FURO	REVESTIMENTO / N.A.	PROFUNDIDADE DAS CAMADAS	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DO MATERIAL (análise táctil-visual)	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DAS AMOSTRAS	CARACTERÍSTICAS E PARTICULARIDADES DE CONSTITUIÇÃO	SOLO: RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (30cm FINAIS / 30cm INICIAIS)	ROCHAS: % DE RECUPERAÇÃO	SPT Nº DE GOLPES INICIAL	SPT Nº DE GOLPES FINAL	TORQUE	DESIGNAÇÃO DA QUALIDADE DA ROCHA %RQD	GRAU DE ALTERAÇÃO	GRAU DE FRATURAMENTO	GRAU DE COERÊNCIA
1,00		N.A. N.F.E.		Alterno de argila, pouco siltosa, pouco arenosa, com pedregulho fino a médio, cor variegada.						3	4	-				
2,00			1,97							3	5	-				
3,00										5	7	-				
4,00										10	14	-				
5,00										28	43	-				
6,00				Silte, pouco argiloso, pouco arenoso, cor roxo.						35	50	-				
7,00										28	29	-				
8,00										55	30/15	-				
9,00										35/10						
10,00			10,07							35/7						
11,00																
12,00																
13,00																
14,00																
15,00																
16,00																
17,00																
18,00																
19,00																
20,00																

OBSERVAÇÕES:

REFORSOLO
engenharia, geotecnia e meio ambiente

Resilieng
Engenharia Consultiva

GRAU DE ALTERAÇÃO — [illegible]
GRAU DE COERÊNCIA — C1 - MUITO RESISTENTE • C2 - RESISTENTE • C3 - MEDIANAMENTE RESISTENTE • C4 - ROCHA BRANDA • C5 - MUITO BRANDA
GRAU DE RQD — D1 - [illegible] • D2 - [illegible] • D3 - [illegible] • D4 - [illegible] • D5 - MUITO POBRE
GRAU DE FRATURAMENTO — F1 - MUITO POUCO • F2 - POUCO FRATURADO • F3 - MEDIANAMENTE FRATURADO • F4 - MUITO FRATURADO • F5 - EXTREMAMENTE FRATURADO
[illegible] — H - HORIZONTAL • SH - SUBHORIZONTAL (0° a 30°) • I - INCLINADO (30° a 70°) • SV - SUBVERTICAL (70° a 90°)
[illegible] — P - PLANO • R - RUGOSO • E - ESTRIADO • S - SEDOSO • O - ONDULADO
N.A. N.F.E. — [illegible]