

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

ANDRESSA DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS ESTÁTICOS COM
O ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS
PRÉ – MOLDADAS DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

ANDRESSA DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS ESTÁTICOS COM
O ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS
PRÉ – MOLDADAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profº Dr. Rogério Francisco Kuster Puppi

CURITIBA

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

**COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS ESTÁTICOS COM
O ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS
PRÉ – MOLDADAS DE CONCRETO**

Por

ANDRESSA DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 27 de fevereiro de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

Prof.º Orientador – Rogério Francisco Kuster Puppi, Dr.
UTFPR

Prof.º José Luiz Gonçalves Brandi, Ms
UTFPR

Prof.º Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu esposo Josias e a todos da minha família e professores que dedicaram seu tempo para me ensinar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo o que tem colocado em meu caminho e me orientar para alcançar meus objetivos.

Ao meu esposo que sempre esteve me apoiando e à minha família por compreender os momentos ausentes. In memoriam ao meu pai pelos ensinamentos e incentivo incondicional para que concluísse essa etapa em minha vida.

Ao Professor e Orientador, Rogério Francisco Kuster Puppi, pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho e, principalmente, pela paciência e dedicação que me foi dispensada.

Aos Professores Wellington Mazer e José Luiz Gonçalves Brandi, pela disposição em participarem e contribuírem para este trabalho.

À professora Dra. Janine Nicolosi Corrêa pelo apoio e sugestões para melhoria deste trabalho e pela paciência em ensinar e ajudar durante os anos do curso.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Sede Ecoville e em especial ao Departamento Acadêmico de Construção Civil pela oportunidade e espaço.

RESUMO

DE OLIVEIRA, Andressa. **Comparação entre os métodos estáticos com o ensaio de carregamento Dinâmico de previsão de capacidade de carga em estacas pré-moldadas de concreto.** 2015. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O presente trabalho apresenta a comparação entre os métodos estáticos de estimativa de capacidade de carga em estacas com o método dinâmico de determinação de capacidade de carga, tomando-se como referência as normas vigentes no país. Por meio de um estudo de caso e dados coletados em campo, demonstra-se o método estático que mais se assemelha ao método dinâmico. Os principais resultados obtidos foram os valores das estimativas de capacidade de carga de três estacas de concreto a partir do Método Décourt e Quaresma e do Método de Aoki e Velloso e a comparação desses valores com o ensaio de carregamento dinâmico. Por meio disso, é possível comparar se o método mais comum para determinação da capacidade de carga de estaca se aproxima da resistência obtida em campo.

Palavras-chave: Capacidade de Carga. Aoki e Velloso. Décourt e Quaresma. Ensaio carregamento Dinâmico. Comparação.

ABSTRACT

DE OLIVEIRA, Andressa. **Comparação entre os métodos estáticos com o ensaio de carregamento Dinâmico de previsão de capacidade de carga em estacas pré-moldadas de concreto.** 2015. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This work is an examination of a construction site located in Curitiba / PR in safety and ergonomics, with reference to the current regulations in force in Brazil. Through a qualitative case study, it demonstrates the financial advantage of properly following regulatory procedures, compares the costs of noncompliance and the appropriateness of the financial impact of their penalties. The main results were that the values of the adjustments were much more viable than the value of the penalties. This research aims to be relevant to workers and managers, business and academic area with an interest in quality of work on site, it is a field that still has a lot to develop in the Construction Industry.

Keywords: Safety. Ergonomics. Civil Construction. Penalties.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ilustração do ensaio SPT | 18 |
| Figura 2 – Quadro dos estados de compacidade e de consistência | 20 |
| Figura 3 – Observação da resposta de uma estaca:..... | 28 |
| Figura 4 – Detalhes da instalação dos instrumentos..... | 29 |
| Figura 5 – Registro Típico das curvas de forças x velocidade x impedância | 33 |
| Figura 6 – Modelo de Smith 1960 | 34 |
| Figura 7 – Variação da resistência ao longo da estaca AE07P04..... | 39 |
| Figura 8 – Variação da resistência ao longo da estaca P11E20 | 42 |
| Figura 9 – Variação da resistência ao longo da estaca P18E31 | 45 |
| Figura 10 – Variação da resistência ao longo da estaca AE07P04..... | 47 |
| Figura 11 – Variação da resistência ao longo da estaca P11E20 | 48 |
| Figura 12 – Variação da resistência ao longo da estaca P18E31 | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Especificações de estacas da PRECON..... | 17 |
| Tabela 2 – Coeficiente k e razão de atrito α | 24 |
| Tabela 3 – Fatores de correção F1 e F2 atualizados | 24 |
| Tabela 4 – Coeficiente característico do solo C | 25 |
| Tabela 5 – Valores de Jc conforme o tipo de solo na ponta da estaca | 24 |
| Tabela 6 – Sondagem de campo AE07P04 | 37 |
| Tabela 7 – Memória da cálculo segundo método Aoki-Velloso AE07P04..... | 38 |
| Tabela 8 – Sondagem de campo da estaca P11E20 | 40 |
| Tabela 9 – Memória da cálculo segundo método Aoki-Velloso P11E20 | 41 |
| Tabela 10 – Sondagem de campo da estaca P18E31 | 43 |
| Tabela 11 – Memória da cálculo segundo método Aoki-Velloso P18E31 | 44 |
| Tabela 12 – Resumo resistência segundo Aoki e Velloso..... | 46 |
| Tabela 13 – Memória da cálculo segundo método método Decourt e Quaresma AE07P04..... | 46 |
| Tabela 14 – Memória da cálculo segundo método método Decourt e Quaresma P11E20 | 47 |
| Tabela 15 – Memória da cálculo segundo método método Decourt e Quaresma P18E31 | 24 |
| Tabela 16 – Resumo resistência segundo método Decourt e Quaresma | 50 |
| Tabela 17 – Resumo especificações das estacas..... | 52 |
| Tabela 18 – Resumo resultados obtidos | 54 |
| Tabela 19 – Resumo dos resultados obtidos de cada método..... | 56 |

LISTA DE NOMENCLATURA, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.

| | |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | Área |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| A_L | Área de superfície lateral da estaca |
| A_p | Área de seção transversal da ponta ou base da estaca |
| C | Fator característico do solo |
| c | Velocidade de propagação da onda |
| CAPWAP | <i>Case Pile Wave Analysis Program</i> |
| CASE | <i>Case Institute of Technology</i> |
| Cm | Centímetro |
| CPT | <i>Cone Penetration Test</i> |
| CSX | Tensão máxima de compressão na região dos sensores; valor calculado a partir da média dos sinais de força ($CSX=FMX/AR$) |
| E | Módulo de elasticidade do material da estaca |
| F | Força aplicada |
| $F \uparrow$ | Força de onda refletida |
| $F \downarrow$ | Força de onda de impacto, transmitida |
| F_1 e F_2 | Fatores de correção entre a estaca e o cone do CPT |
| f e g | Funções |
| f_s | Atrito lateral em função de N_{SPT} |
| Jc | Fator de amortecimento de CASE |
| Ji | Fator de amortecimento viscoso |
| Js | Fator de amortecimento de Smith |
| Jv | Fator de <i>damping</i> viscoso |
| K | Coeficiente que depende do tipo de solo |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| N_L | Índice de resistência à penetração médio no segmento Δ_L |
| N_p | Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca |
| $\overline{N_p}$ | Média entre os valores dos N_{SPT} |
| N_{SPT} | Número de golpes para penetração de 30 cm no ensaio SPT |

| | |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P_{adm} | Carga admissível |
| PDA | <i>Pile Driving Analyser</i> |
| PDI | Provas Dinâmicas e Instrumentação Engenharia Ltda |
| PRECON | Engenharia Lta |
| q_c | Resistência de ponta do cone |
| q_i | quake |
| R | Resistência do solo |
| R _{di} | Resistência dinâmica do segmento |
| R _i | Somatório da resistência estática última |
| R _L | Resistência lateral |
| r_L | Tensão resistente por atrito lateral |
| R _l | Capacidade de carga lateral |
| RMX | Capacidade mobilizada calculada pelo método CASE, para um fator de amortecimento “Jc” adotado com base nas análises do CAPWAP. |
| R _p | Capacidade de carga de ponta |
| r_p | Resistência de ponta da estaca |
| R _u | Capacidade de carga de um elemento isolado de fundação |
| R _{ui} | Resistência última |
| SPT | <i>Standard Penetration Test</i> |
| t | Tempo |
| tf | Tonelada-força |
| TSX | Máxima tensão de tração calculada ao longo do fuste da estaca |
| U | Perímetro do fuste da estaca |
| u | Deslocamento |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| v | Velocidade |
| x | Distância a partir do topo da estaca |
| Z | Impedância |
| α | Razão de atrito que depende do tipo de solo |
| Δ_L | Segmento da estaca |
| ρ | Densidade de massa do material da estaca |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL..... | 14 |
| 1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA..... | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 16 |
| 2.1 | DEFINIÇÕES..... | 16 |
| 2.2 | INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA..... | 18 |
| 2.3 | MÉTODOS SEMI EMPÍRICOS PARA ESTIMAR A CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS..... | 20 |
| 2.4 | ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (ECD)..... | 26 |
| 2.4.1 | FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA MECÂNICA DAS ONDAS..... | 30 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 35 |
| 3.1 | MATERIAIS..... | 35 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 37 |
| 4.1 | RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO AOKI-VELLOSO (1975)..... | 37 |
| 4.1.1 | Estaca AE07P04..... | 37 |
| 4.1.2 | Estaca P11E20..... | 40 |
| 4.1.3 | Estaca P18E31..... | 43 |
| 4.2 | RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO DECOURT E QUARESMA (1978)..... | 46 |
| 4.2.1 | Estaca AE07P04..... | 46 |
| 4.2.2 | Estaca P11E20..... | 47 |
| 4.2.3 | Estaca P18E31..... | 48 |
| 4.3 | RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO..... | 51 |
| 4.3.1 | COMENTÁRIOS SOBRE OS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO..... | 53 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 56 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 56 |
| 6 | REFERÊNCIAS..... | 58 |
| 7 | ANEXOS..... | 61 |

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 | ANEXO 1 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE – ESTACA AE07P04 | 62 |
| 7.2 | RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP – ESTACA AE07P04..... | 67 |
| 7.3 | ANEXO 2 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE - ESTACA P11E20 | 71 |
| 7.4 | RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP - ESTACA P11E20..... | 76 |
| 7.5 | ANEXO 3 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE-ESTACA P18E31 – 1ª FASE..... | 80 |
| 7.6 | ANEXO 04 – RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE - ESTACA P18E31 – 2ª FASE..... | 85 |
| 7.7 | RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP - ESTACA P18E31 | 90 |
| 7.8 | PERFIL DE SONDAGEM..... | 94 |
| 7.9 | REGISTRO FOTOGRÁFICO | 97 |

1 INTRODUÇÃO

O aumento do número de edifícios com mais de vinte pavimentos vem exigindo um controle maior e novas tecnologias para execução dos mesmos. Desta maneira, a supra-estrutura conhecida como pilares, vigas, lajes e, a infra-estrutura ou fundação, devem adquirir resistências superiores as de costume.

Um exemplo disso é que na engenharia geotécnica a análise do dimensionamento e estimativa da capacidade de carga da fundação tem se tornado mais frequente. O método mais comum utilizado para determinar a capacidade de carga de uma estaca executada é o PDA (Ensaio de Carregamento Dinâmico), que através de equações de onda produzidas pelo impacto do martelo de cravação obtém uma relação entre a velocidade da onda, o deslocamento e a resistência da estaca (Marchezini, 2013).

Já na fase de projeto de fundação, a capacidade de carga da estaca é dimensionada utilizando o método de Décourt e Quaresma para carregamento estático. Nesse caso, a análise se faz através de parâmetros obtidos unicamente do ensaio de SPT (Standard Penetration Test) (Schnaid, 2000).

Devido às várias opções existentes para estimar a capacidade de carga de uma estaca, há uma variação entre os valores obtidos, por isso que a partir de 2010 a nova norma NBR 6122/10: "Projeto e Execução de Fundações" especifica que para obras com mais de 100 estacas é obrigatória à execução de provas de carga estática em pelo menos 1% das estacas, podendo ser substituído na proporção de cinco ensaios dinâmicos para cada prova de carga estática, conforme item 9.2.2 da referida norma (ASSOCIAÇÃO, ..., 2010).

Dessa forma o ensaio de Prova de Carga Dinâmica, considerado confiável, está sendo realizado constantemente entre as empresas de investigação geotécnica como um fator de confrontação com os cálculos semi-empíricos para comprovar a capacidade de carga de estacas.

Após a análise nos programas CASE e CAPWAP é possível confirmar a capacidade de carga de um elemento de fundação e conferir se o mesmo foi bem dimensionado.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é comparar os métodos semi-empíricos de estimativas de capacidade de carga de Décourt e Quaresma, e Aoki e Velloso, com o método de determinação de capacidade de carga do ensaio de carregamento dinâmico analisado nos programas CASE e CAPWAP, a fim de confirmar se a igualdade ou semelhança dos resultados é possível.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Utilizar o método de Décourt e Quaresma para estimar a capacidade de carga de estacas pré-moldadas de concreto em um terreno com sondagem conhecida,
- Utilizar o método de Aoki e Velloso para estimar a capacidade de carga das mesmas estacas,
- Executar ensaios de Prova de carga dinâmica em estacas de concreto, no solo com as características conhecidas,
- Utilizar os programas CASE e CAPWAP realizando subsequentes análises de determinação da capacidade de carga das estacas,
- Comparar os resultados obtidos nos dois métodos (semi-empíricos e prova de carga dinâmica) se os mesmos são iguais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que os ensaios de carregamento dinâmico estão se tornando uma prática comum entre as empresas, e por serem considerados confiáveis para a determinação da capacidade de carga de estacas, é importante entender como o mesmo funciona e se os métodos de cálculo para estimativa oferecem resultados parecidos.

Mesmo que os métodos de Décourt e Quaresma e Aoki e Velloso sejam considerados simples, pois utilizam apenas os ensaios de sondagem SPT, os mesmos vêm sendo utilizados desde o início da Engenharia Geotécnica.

Contudo, a fim de evitar o mau dimensionamento e a má execução de elementos de fundação a NBR 6122/10 decretou a obrigatoriedade de ensaios de carregamento dinâmico e os carregamentos estáticos para confrontar com os resultados esperados pelos cálculos.

Considerando que os resultados do ensaio de carregamento dinâmico são obtidos com análise em programas computacionais que traduzem a mecânica das ondas dentro das estacas e aplicam os coeficientes referentes a cada tipo de solo, material e dimensão da mesma, o que é encontrado nos relatórios é uma conclusão sobre a capacidade de carga de um elemento de fundação, ainda que a decisão final sobre a utilização da estaca seja de competência do engenheiro projetista.

Dessa forma, no final da comparação entre os métodos, poderá se obter uma capacidade de carga de estaca referente a cada metodologia com solos combinados diferentemente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica a seguir aborda temas necessários para a compreensão do problema existente e dos objetivos propostos nesse trabalho.

Serão abordados temas referentes às fundações profundas, como sua definição, exemplos, ensaios necessários para caracterização do solo, métodos semi-empíricos para estimar a capacidade de carga e especificação do ensaio a ser utilizado para determinar a capacidade de carga de estacas.

2.1 DEFINIÇÕES

Segundo a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), define-se por fundação profunda aquela que transmite carga proveniente da superestrutura ao terreno pela resistência de ponta, por sua resistência de fuste, ou pela combinação das duas. Ainda, segundo esta referida norma, a fundação profunda deve ter em profundidade uma altura superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, no mínimo 3 metros.

Conforme a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), as estacas são elementos de fundação profunda executadas inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida do operário para executá-la. Os materiais empregados podem ser de aço, madeira, concreto pré-moldado, concreto protendido, concreto centrifugado, concreto moldado in situ ou mistos.

As fundações profundas são utilizadas geralmente quando os solos superficiais não apresentam capacidade de suportar elevadas cargas, ou estejam sujeitos a processos erosivos, e também, quando existe a possibilidade de realização de uma escavação futura nas proximidades da obra (LABORATÓRIO DE MECÂNICAS DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO, 2014).

Conforme a Universidade do Rio Grande do Sul (2014), alguns fatores que determinam o tipo de fundação são:

- Geologia do local a ser utilizado
- Pesquisa do subsolo adequada
- Cálculo de cargas e recalques

- Equipamentos e mão de obra disponíveis
- Custo de execução

As estacas pré-moldadas são previamente fabricadas antes de sua cravação. A cravação pode ser executada à percussão ou por escavação, ou ainda, mista (VELLOSO E LOPES, 2004). Pela natureza do processo, esse tipo de estaca é considerada de grande deslocamento (introduzidas no solo, sem a retirada do solo provocando um grande deslocamento do solo adjacente a estaca (MARANGON, 2009).

A grande vantagem da estaca de concreto pré-moldada é que há maior controle sobre a sua concretagem, uma vez que o processo é realizado em fábrica. Algumas desvantagens desse tipo de estaca são: necessidade de organizar bem o armazenamento e o transporte dentro da obra, grande consumo de aço, consumo de tempo e dinheiro para encurtar ou prolongar as estacas devido às variações do projeto.

Algumas características das estacas pré-moldadas podem ser encontradas na tabela 1:

Tabela 1 - Especificações de estacas da PRECON

| Especificações de estacas | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Dimensões | Carga max. estrutural (t) | Carga max. de tração (t) | Seção de concreto (cm ²) | Peso (gkf/m) | Momento de Inércia (cm ⁴) | Comprimentos fabricados (m) |
| 15,0 x 15,0 | 25,0 | 5,0 | 225 | 56 | 4.219 | 5, 6 e 7 |
| 17,0 x 17,0 | 35,0 | 5,0 | 289 | 72 | 6.960 | 4, 6 e 8 |
| 20,0 x 20,0 | 50,0 | 5,0 | 400 | 100 | 13.333 | 4, 6 e 8 |
| 21,5 x 21,5 | 60,0 | 7,5 | 462 | 115 | 17.806 | 4, 6, 8 e 10 |
| 23,0 x 23,0 | 70,0 | 9,0 | 529 | 132 | 23.320 | 4, 6, 8 e 10 |
| 25,5 x 25,5 | 85,0 | 9,0 | 650 | 162 | 35.235 | 4, 6, 8 e 10 |
| 28,0 x 28,0 | 105,0 | 9,0 | 784 | 196 | 51.221 | 4, 6, 8 e 10 |
| Ø 42,0 | 125,0 | 16,0 | 855 | 215 | 130.340 | 4, 6 e 8 |
| Ø 50,0 | 160,0 | 25,0 | 1.159 | 315 | 255.325 | 4, 6 e 8 |

Fonte: Marangon (2009)

Segundo a NBR-6122 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), as estacas pré-moldadas de concreto podem ser emendadas desde que que resistam a todas as solicitações que nelas ocorram durante o manuseio, a cravação e a utilização da estaca.

Deve-se ainda prever a emenda das estacas para resistir aos esforços solicitantes, e cuidar com o topo da estaca para que o mesmo não venha a ser danificado durante a cravação.

2.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Um pré-requisito para projetos de fundação é o reconhecimento das características do solo (camadas de solo, lençóis freáticos). Segundo Schnaid (2000), no Brasil o custo envolvido na execução de sondagens de reconhecimento varia normalmente entre 0,2 e 0,5% do custo total da obra, sendo que as informações geotécnicas obtidas são indispensáveis à previsão dos custos fixos associados ao projeto e sua solução.

O tipo de ensaio mais utilizado para reconhecimento do solo é a sondagem à percussão. Segundo Velloso e Lopes (2004), as sondagens à percussão são perfurações capazes de ultrapassar o nível d'água e atravessar solos relativamente compactos ou duros. O furo é revestido se apresentar-se instável; caso se apresente estável a perfuração pode prosseguir sem revestimento, eventualmente adicionando-se um pouco de bentonita à água. A perfuração avança na medida em que o solo, desagregado com auxílio de um trépano, é removido por circulação de água.

Este processo é interrompido a cada metro perfurado para a realização do ensaio de penetração dinâmica (SPT), conforme figura 1 abaixo.

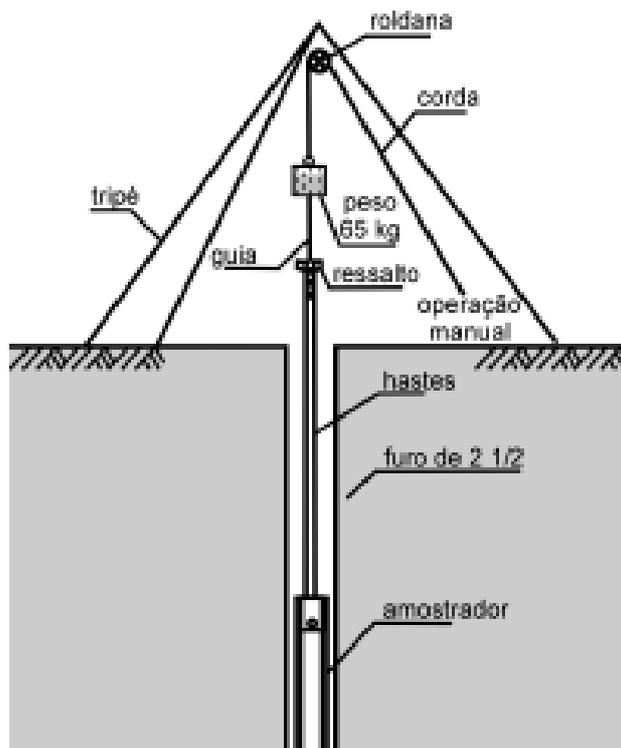


Figura 1- Ilustração do ensaio SPT

Fonte: Schaid (2000)

Este ensaio é normalizado pela NBR 6484/2001 – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método Ensaio e a norma NBR 8036 (1983) – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimentos, fixa as condições necessárias para a programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos destinada à elaboração de projetos geotécnicos.

Quando há solos em que se precise ultrapassar matacões ou blocos, é realizada a sondagem mista, na qual faz-se girar as hastes pelo cabeçote de perfuração e em força-las para baixo. No topo das mangueiras há um acoplamento que permite a liberação da mangueira de água com as hastes que estão girando (VELLOSO E LOPES, 2004).

Essa sondagem mista é uma junção entre equipamentos da sondagem rotativa e da sondagem a percussão. O amostrador utilizado para coletar uma quantidade de solo influencia na qualidade da amostra, por isso, é necessário conhecer o diâmetro do mesmo para identificar a percentagem de recuperação de amostra na sondagem. E a recuperação da amostra também depende do estado da coroa e da fixação da sonda (VELLOSO E LOPES, 2004).

De posse dos dados de campo, o material é levado para laboratório para análise. Os resultados obtidos incluem: compactidade de solos granulares, consistência de solos argilosos, classificação do solo, granulometria, plasticidade, cor, origem (tais como solos residuais, transportados, aterros). Com essas informações é possível fazer o projeto geotécnico.

A figura 2 adiante conforme NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO..., 2001), para classificação do solo conforme o número de golpes necessários para à cravação dos trechos nominais de 15 cm do amostrador em função da penetração correspondente.

| Solo | Índice de resistência à penetração N | Designação ¹⁾ |
|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| Areias e siltes arenosos | ≤ 4 | Fofa(o) |
| | 5 a 8 | Pouco compacta(o) |
| | 9 a 18 | Medianamente compacta(o) |
| | 19 a 40 | Compacta(o) |
| | > 40 | Muito compacta(o) |
| Argilas e siltes argilosos | ≤ 2 | Muito mole |
| | 3 a 5 | Mole |
| | 6 a 10 | Média(o) |
| | 11 a 19 | Rija(o) |
| | > 19 | Dura (o) |

¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Figura 2: Quadro dos estados de compactidade e de consistência

Fonte: NBR 6484 (ASSOCIAÇÃO..., 2001)

2.3 MÉTODOS SEMI EMPÍRICOS PARA ESTIMAR A CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS

Os métodos semi-empíricos para estimar a capacidade de carga de estacas mais utilizados são os de Aoki e Velloso (1975), de Décourt e Quaresma (1978), Meyerhof (1956), Velloso (1981), Teixeira (1996), Vorcaro e Velloso (2000), citados por Velloso e Lopes (2002).

Para consideração nesse trabalho serão considerados os métodos de Aoki e Velloso (1975) e de Décourt e Quaresma (1978).

- Método Estático de Aoki e Velloso (1975)

Este método foi desenvolvido inicialmente a partir de valores obtidos de ensaios de penetração estática (CPT), utilizando um fator K de conversão para utilizar em ensaios dinâmicos (SPT) (Schnaid, 2000).

Assim, a capacidade de carga última da estaca é a soma das parcelas devido à resistência de ponta e à resistência lateral da estaca, como mostra a equação 2.1.

$$R = R_L + R_p \quad (2.1)$$

Onde:

R = resistência do solo

R_L = resistência lateral

R_p = resistência de ponta

Segundo Marchezini (2013), a resistência lateral pode ser descrita através da equação 2.2:

$$R_L = U \sum (r_L \Delta_L) \quad (2.2)$$

Onde:

U = perímetro do fuste

r_L = tensão resistente por atrito lateral

Δ_L = segmentos da estaca

Já a equação 2.3 que define a resistência de ponta é dada por:

$$R_p = r_p A_p \quad (2.3)$$

Onde:

r_p = resistência de ponta da estaca

A_p = área de seção transversal da ponta ou base da estaca

Portanto, a expressão de capacidade de carga de um elemento de fundação é dada pela equação 2.4.

$$R = U \sum (r_L \Delta_L) + r_p A_p \quad (2.4)$$

Conforme Marchezini (2013), r_p e r_L são incógnitas geotécnicas, inicialmente obtidas em ensaios CPT, por meio da resistência de ponta de cone (q_c) e do atrito unitário na luva (f_s). O coeficiente q_c pode ser substituído por uma correlação com o índice de resistência à penetração (NSPT), pois no Brasil é mais utilizado o ensaio SPT.

Assim, as novas equações de r_p , r_L e q_c são dadas por (2.5), (2.6) e (2.7):

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (2.5)$$

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (2.6)$$

$$q_c = KN_{SPT} \quad (2.7)$$

Onde:

F_1 e F_2 = fatores de correção que levam em conta a diferença de comportamento entre a estaca e o cone CPT, e a influência do método executivo de cada tipo de estaca.

K = coeficiente que depende do tipo de solo

f_s = atrito lateral em função de NSPT, utilizando a razão de atrito (α) dada pela equação 2.8:

$$\alpha = \frac{f_s}{q_c} \quad (2.8)$$

De onde obtém-se a equação 2.9:

$$f_s = \alpha KN_{SPT} \quad (2.9)$$

Onde α depende do tipo do solo.

O método de Aoki e Velloso se baseia no tipo de solo que é conhecido através da sondagem SPT, e por isso deduz os valores de resistência de ponta e lateral nas equações 2.10 e 2.11, respectivamente.

$$r_p = \frac{KN_p}{F_1} \quad (2.10)$$

$$r_L = \frac{\alpha KN_L}{F_2} \quad (2.11)$$

De onde N_p e N_L é o índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca e o índice de resistência à penetração médio no segmento Δ_L , respectivamente.

Conforme Marchezini (2013), a fórmula empírica para a capacidade de carga pode ser escrita na equação 2.12:

$$R = \frac{KN_p}{F_1} A_p + \frac{U}{F_2} \sum_1^n (\alpha KN_L \Delta_l) \quad (2.12)$$

A tabela 2 representa os valores de K e α atualizados, e a tabela 3 os valores de F_1 e F_2 atualizados.

Tabela 2- Coeficiente K e razão de atrito α

| Solo | K(MPa _a) | α (%) |
|----------------------|----------------------|--------------|
| Areia | 1,00 | 1,4 |
| Areia siltosa | 0,80 | 2,0 |
| Areia siltoargilosa | 0,70 | 2,4 |
| Areia argilosa | 0,60 | 3,0 |
| Areia argilossiltosa | 0,50 | 2,8 |
| Silte | 0,40 | 3,0 |
| Silte arenoso | 0,55 | 2,2 |
| Silte arenoargiloso | 0,45 | 2,8 |
| Silte argiloso | 0,23 | 3,4 |
| Silte argiloarenoso | 0,25 | 3,0 |
| Argila | 0,20 | 6,0 |
| Argila arenosa | 0,35 | 2,4 |
| Argila arenossiltosa | 0,30 | 2,8 |
| Argila siltosa | 0,22 | 4,0 |
| Argila siltoarenosa | 0,33 | 3,0 |

Fonte: Velloso e Lopes, 2010

Tabela 3 - Fatores de correção F1 e F2 atualizados

| Tipo de estaca | F ₁ | F ₂ |
|----------------|----------------|-----------------|
| Franki | 2,50 | 2F ₁ |
| Metálica | 1,75 | 2F ₁ |
| Pré-moldada | 1+D/0,80 | 2F ₁ |
| Escavada | 3,0 | 2F ₁ |

Fonte: Velloso e Lopes, 2010

- Método Estático de Décourt e Quaresma (1978)

Segundo os próprios autores, esse método apresenta um processo expedito para estimar a capacidade de carga de ruptura. Tal método é baseado exclusivamente em resultados de ensaios SPT (SCHNAID, 2000). Dessa forma, por não utilizar a correlação com o ensaio de cone esse método pode conduzir a resultados mais confiáveis (MARCHEZINI, 2013).

Segundo Marchezini (2013), a capacidade de carga do solo junto à ponta em kPa ou base do elemento estrutural de fundação é estimada pela equação 2.13.

$$r_p = C \overline{N_p} \quad (2.13)$$

Sendo:

C = fator característico do solo

N_p = média entre os valores dos NSPT. As mesmas são correspondentes ao nível da ponta ou base da estaca, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior (MARCHEZINI, 2013).

Os coeficientes característicos do solo estão representados na tabela 4.

Tabela 4 - Coeficiente característico do solo C

| Tipo de solo | C(kPa) |
|------------------------------------------------------|--------|
| Argila | 120 |
| Silte argiloso-alteração de rocha (solos residuais) | 200 |
| Silte arenoso – alteração de rocha (solos residuais) | 250 |
| Areia | 400 |

Fonte: Cintra e Aoki, 2010

Décourt e Quaresma (1978) propuseram uma equação para atender ao confinamento devido ao deslocamento do solo, representada na equação 2.14.

$$r_l = 10 \left(\frac{\overline{N_L}}{3} + 1 \right) \text{ em kPa} \quad (2.14)$$

Onde:

N_L = valor médio dos N_{SPT} ao longo do fuste da estaca, adotando como 3 os valores do N_{SPT} menores que 3 e como 50 os valores de N_{SPT} maiores que 50.

Desta forma, tem-se que a resistência de ponta é a descrita na equação 2.15 e a resistência lateral por atrito ou adesão ao longo do fuste é a dada pela equação 2.16.

$$R_p = r_p A_p = C \overline{N_p} A_p \quad (2.15)$$

$$R_l = r_l A_l = 10 \left(\frac{\overline{N_L}}{3} + 1 \right) A_l \quad (2.16)$$

Sendo:

A_L = área de superfície lateral da estaca (m^2)

Por fim, a capacidade de carga de um elemento isolado de fundação (R_u) é a soma da parcela referente à capacidade de carga de ponta mais a parcela de capacidade de carga lateral, apresentada na equação 2.17.

$$R_u = R_p + R_l \quad (2.17)$$

Segundo Marchezini (2013), deve-se obter um valor médio entre a capacidade de carga dos elementos isolados e ainda, com um coeficiente de segurança global igual a 2 estimar a carga admissível P_{adm} .

2.4 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (ECD)

O ensaio de carregamento dinâmico começou a ser utilizado no Brasil em 1981 em uma estaca de aço durante uma obra marítima (NIYAMA ET AL., 1982). Os ensaios em terra iniciaram-se em 1983. E desde então se tornou uma prática comum no Brasil. Outros países que utilizam este ensaio são Canadá, Itália, China, Alemanha, Egito e Israel (NIYAMA, 2002).

Este ensaio foi desenvolvido para estacas pré-moldadas, mas seu uso também é indicado em estacas moldadas in loco, uma vez que esse tipo de fundação apresenta a vantagem de reduzir os impactos ambientais causados pela cravação (ANDRAOS, 2009).

Segundo a NBR 13208 (ASSOCIAÇÃO..., 2007), este ensaio visa verificar o comportamento da interação estaca-solo durante a aplicação de uma força de

impacto no seu topo. O ensaio também objetiva a obtenção dos dados adiante citados:

- A capacidade de carga da estaca na ocasião do ensaio. A fim de se levar em consideração os efeitos da variação da capacidade com o tempo, as medições são realizadas durante a recavação das estacas.
- As tensões dinâmicas durante a cravação ou recavação da estaca. A fim de se atenuar a possibilidade de danos durante sua instalação ou recavação, é importante que as tensões da estaca sejam mantidas dentro de limites aceitáveis e que no caso de estacas de concreto, as tensões de tração também são importantes.
- O desempenho do martelo utilizado na cravação, sendo importante para otimizar a produtividade e controlar o estaqueamento.
- A integridade da estaca, podendo ser analisada durante e após a execução da mesma.

Através da aplicação do carregamento dinâmico axial à estaca, obtém-se além de outras informações, a estimativa da capacidade de carga da estaca. Tais parâmetros são identificados por meio da Teoria da Equação de Onda com base no modelo idealizado por Smith (1960) (ANDRAOS, 2009).

A Equação da Onda considera a estaca uma barra na qual há a propagação de uma onda de tensão ou força gerada pelo golpe aplicado. Essa força poderá ser atenuada pela ação do solo que envolve o elemento estrutural (MARCHEZINI, 2013). Outras fórmulas dinâmicas foram apresentadas, porém no final do século XX, o uso da teoria da equação das ondas substituiu essas fórmulas, com medidas em campo pelo sistema PDA (*Pile Driving Analyser*).

Uma das maneiras mais fáceis de verificar a resposta à cravação da estaca consiste em riscar a lápis uma linha horizontal na estaca com uma régua apoiada em dois pontos da torre do bate-estaca, depois da aplicação de 10 golpes, riscar novamente, medir a distância entre os dois riscos e dividi-lo por 10. Assim, obtém-se a penetração média por golpe, chamada nega, Fig. 3.a. Outra forma é prender uma folha de papel ao fuste da estaca e no momento do golpe passar um lápis na horizontal, também com a ajuda de uma régua, mas a mesma apoiada em pontos fora da estaca, Fig. 3.b. Assim, obtém-se a nega e o repique elástico (VELLOSO E LOPES, 2002)

Já no ensaio de carregamento dinâmico, a leitura é realizada por meio de acelerômetros e extensômetros, Fig.3.c (VELLOSO E LOPES, 2002).

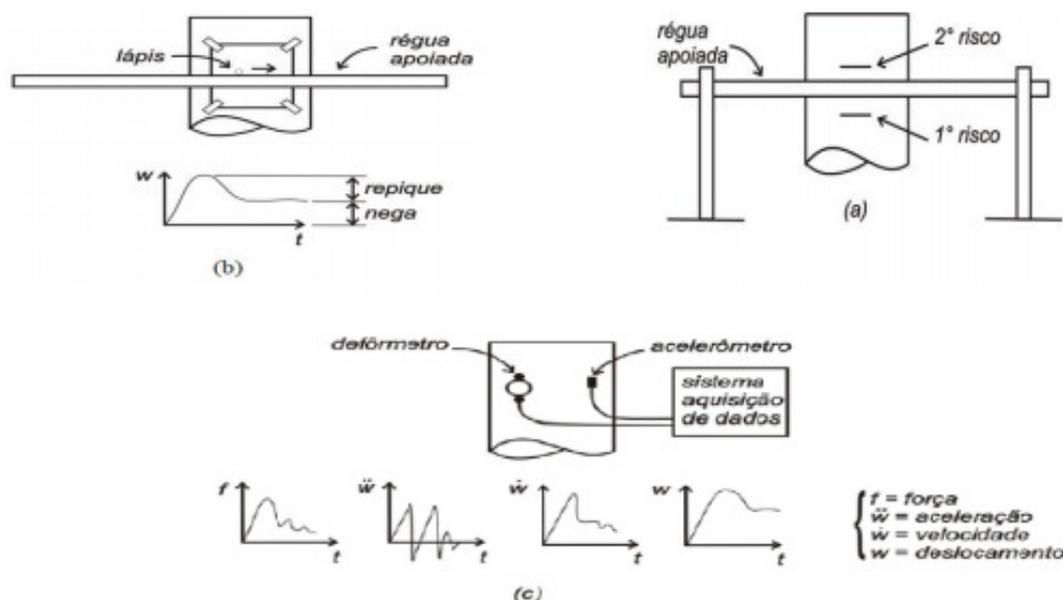


Figura 3 - Observação da resposta à cravação de uma estaca: a) medida simples da nega, b) medida da nega e repique e c) monitoração da cravação com instrumentos eletrônicos

Fonte: Velloso e Lopes, 2002

O PDA calcula os dados baseando-se nos sinais de força e velocidade no topo da estaca. A força é obtida por meio de sensores de deformação, cujo sinal é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material da estaca, pela área de seção na região dos sensores. A velocidade é obtida pela integração do sinal dos acelerômetros. São utilizados dois transdutores de cada tipo, colocados diametralmente opostos, cujos sinais são enviados por cabo até o PDA. Os transdutores são fixados à estaca por parafusos, mediante chumbadores no caso de estacas de concreto. Os sensores devem ser colocados em uma seção situada a pelo menos dois diâmetros abaixo do topo da estaca, conforme figura 4.

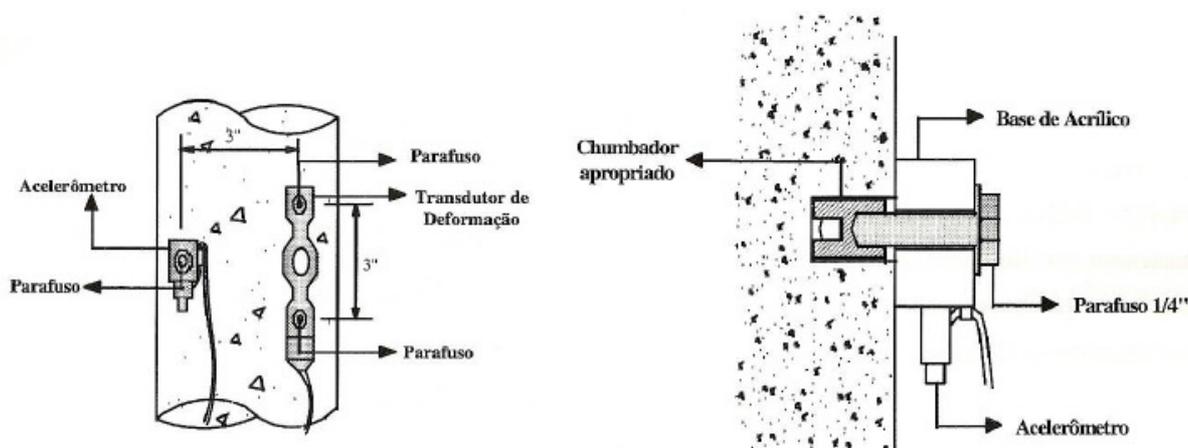


Figura 4: Detalhes da instalação dos instrumentos

Fonte: Gonçalves *et al*, 1996

O PDA processa os sinais dos sensores e os envia a um conversor analógico-digital. Tal equipamento tem um micro computador e o mesmo é operado através de um teclado, e é por onde são previamente enviados os valores de parâmetros da estaca e sensibilidade dos sensores.

Há então um programa que lê uma média dos dois sinais de velocidade e de força, e a partir desses sinais o PDA efetua os cálculos utilizando o método *CASE*, descrito adiante. Após cada golpe do martelo, o PDA exhibe os valores de interesse e armazena os dados. Alguns dos sinais analisados pelo PDA são posteriormente também analisados pelo programa *CAPWAP*. O *CAPWAP* é um programa que através dos sinais de força e velocidade realiza uma modelagem solo-estaca baseada na equação da onda. Esse programa permite confirmar os resultados obtidos em campo pelo método *CASE*, e fornece a distribuição da resistência estática da estaca (parcela devido à ponta mais parcela devido ao atrito lateral), bem como outros parâmetros do solo. O método *CASE* consiste em uma solução matemática fechada, baseado em hipóteses simplificadoras, tais como uniformidade da estaca, homogeneidade e por isso é confirmado por uma análise do *CAPWAP*.

Alguns parâmetros inseridos no aparelho do PDA para análise são: dimensão da estaca, profundidade de cravação, altura da estaca acima do solo, peso do martelo de cravação, peso específico do material da estaca e J_c (coeficiente de amortecimento). O valor de J_c é escolhido pelo operador, com base no relatório de sondagem. A tabela 5 adiante é sugerida pela PDI (empresa norte americana fabricante do aparelho) em função do tipo de solo na ponta da estaca. Já para o

cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E) pode ser calculado por $\rho \cdot c^2$ onde ρ é massa específica do material que compõe a estaca e c é a velocidade de propagação da onda do material da estaca.

Tabela 5: Valores de J_c conforme o tipo de solo na ponta da estaca

| | | |
|----------------------------------|-------|-------------------------|
| Areia | ----- | J_c entre 0,05 e 0,20 |
| Areia siltosa ou silte arenoso | ----- | J_c entre 0,15 e 0,30 |
| Silte | ----- | J_c entre 0,20 e 0,45 |
| Argila siltosa ou silte argiloso | ----- | J_c entre 0,40 e 0,70 |
| Argila | ----- | J_c entre 0,60 e 1,10 |

Fonte: Geofund Fundações, 2014

Já na análise do programa *CAPWAP*, utiliza-se os mesmos dados da estaca e os parâmetros do solo são assumidos e depois na análise no computador são colocadas as variáveis conforme dados de campo. O programa resolve a equação da onda, utilizando uma das variáveis como condição de contorno, (por exemplo, a velocidade), para obter a outra variável da qual se possui um registro (por exemplo, a força).

2.4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA MECÂNICA DAS ONDAS

Quando uma estaca é subitamente carregada por uma força em uma extremidade, é gerada uma onda de tensão que percorre toda a estaca com velocidade c , dada pela equação 2.18.

$$c^2 = \frac{E}{\rho} \quad (2.18)$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade do material que compõe da estaca

ρ = massa específica do material que compõe a estaca

Segundo Marchezini (2013), a velocidade de onda é a velocidade em que as zonas de compressão ou de tração se movem ao longo da estaca (v).

É importante distinguir a velocidade c (velocidade de propagação da onda dentro do material da estaca) à velocidade v . v é a velocidade com a qual as partículas da estaca se movimentam quando a onda se propaga. Na medida em que houver a onda trafegando em apenas uma direção, a força em um dado ponto é proporcional à velocidade da partícula naquele ponto, conforme equação 2.19.

$$F = Zv \quad (2.19)$$

Onde:

Z = Impedância (capacidade da estaca de se opor a mudança de velocidade das partículas) (ANDRAOS, 2009).

A impedância depende apenas do material da estaca como pode ser observado na equação 20.

$$Z = \frac{EA}{c} \quad (2.20)$$

À medida que encontra em seu trajeto elementos como resistência do solo, variações de características do material da estaca, ou sua ponta, a onda sofre reflexões, e a equação 2.20 acima deixa de ser válida. Por isso, D'Alembert (DYMINSKI, 2000) descreve o deslocamento (u) de uma partícula no espaço, a uma distância x do topo da estaca, provocado pela propagação de uma onda de velocidade c e no tempo (t). A equação diferencial de onda de D'Alembert ($\rho (\partial^2 u / \partial t^2) = E (\partial^2 u / \partial x^2)$) tem uma solução representada na equação 2.21.

Essa equação apresentada inicialmente em D'Alembert (1747, apud Bernardes, 1989), admite hipóteses simplificadoras como seção transversal uniforme, material isotrópico, tensão axial uniformemente distribuída sobre a seção transversal e, é expressa pela equação 2.21. E a resposta dessa equação está representada por duas parcelas, uma que sobe e outra que desce, que mostra a parte da onda que desce pela estaca quando o martelo bate na cabeça da mesma, e a parte que sobe representa a onda refletida da ponta da estaca.

$$u(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct) = u \downarrow + u \uparrow \quad (2.21)$$

A equação acima consiste de duas componentes (g e f), que se propagam com mesma velocidade c, mas em direções opostas. Uma é chamada de “onda descendente” (*wave down ou Wd*) e a outra de “onda ascendente” (*wave up ou Wu*).

Para a resolução da equação geral da onda são utilizados métodos numéricos como o CASE e o método idealizado por E.A.L. Smith que é a base da análise CAPWAP (ANDRAOS, 2009). No ensaio de carregamento dinâmico são utilizadas as equações 2.22 e 2.23 para determinar as ondas de força ascendente e descendente.

$$W_d = \frac{(F + Zv)}{2} \quad (2.22)$$

$$W_u = \frac{(F - Zv)}{2} \quad (2.23)$$

Da mesma forma, a força e a velocidade de deslocamento da partícula podem ser escritas pelas equações 2.24 e 2.25 (ANDRAOS, 2009).

$$F = F \downarrow + F \uparrow = V \downarrow Z + V \uparrow Z \quad (2.24)$$

$$V = V \downarrow + V \uparrow \quad (2.25)$$

Ao cravar uma estaca, ocorre uma força de resistência à penetração do solo, como reação, sendo uma parcela de atrito lateral e outra de resistência de ponta. Assim, qualquer alteração no material da estaca ou na seção, pode ser observada

pela análise do sinal força e velocidade (MARCHEZINI, 2013). O sinal pode ser representado pela figura 5 adiante.

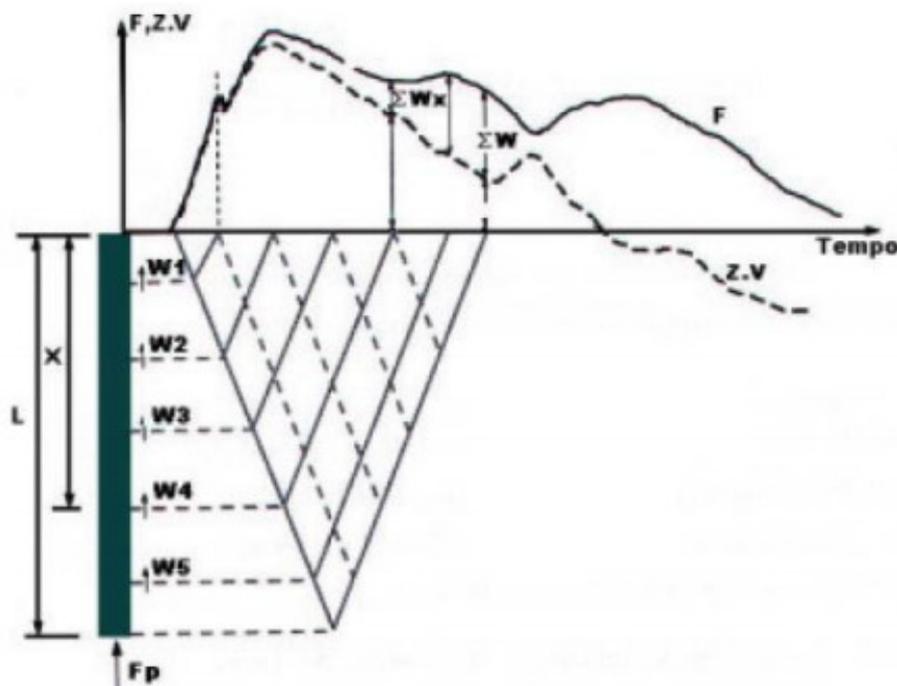


Figura 5: Registro típico das curvas de forças x velocidade x impedância

Fonte: Goncalves *et al*, 2007

O modelo de Smith (1960), permite avaliar além da resistência última, as velocidades, tensões, deslocamentos, acelerações nas diversas seções da estaca, para cada intervalo de tempo.

No artigo de Smith (1960) e em Velloso e Lopes (2002) encontra-se o conjunto de equações utilizadas pelo autor. Na Figura 6 encontra-se o modelo idealizado por Smith, no qual, o peso do martelo, o sistema de acionamento, simulado como uma massa, o cepo, capacete e coxim – sistema de amortecimento, e a estaca são representados por uma serie de massas interligadas, as quais se aplicam as forças resistentes. Os amortecedores e as molas modelam a reação do solo (MARCHEZINI, 2013).

A estaca é dividida em vários segmentos de massa e resistência é calculada no nível de cada segmento, conforme a figura 6. Há ainda, três parâmetros para representar os amortecedores: Resistencia ultima (R_{ui}), “quake” (q_i) e fator de amortecimento viscoso (J_i), onde i representa cada segmento. A resistência total

para um segmento (R_i) é o somatório da resistência estática última para o segmento (R_{ui}) com a resistência dinâmica do segmento (R_{di}) (MARCHEZINI, 2013).

Segundo Marchezini (2013), Smith (1960) considerou uma resistência dinâmica oferecida pelo solo ao deslocamento rápido da estaca, função da resistência estática, da velocidade (v) e do fator de amortecimento J_c , mostrada na equação 2.26:

$$R_{di} = J_c v \quad (2.26)$$

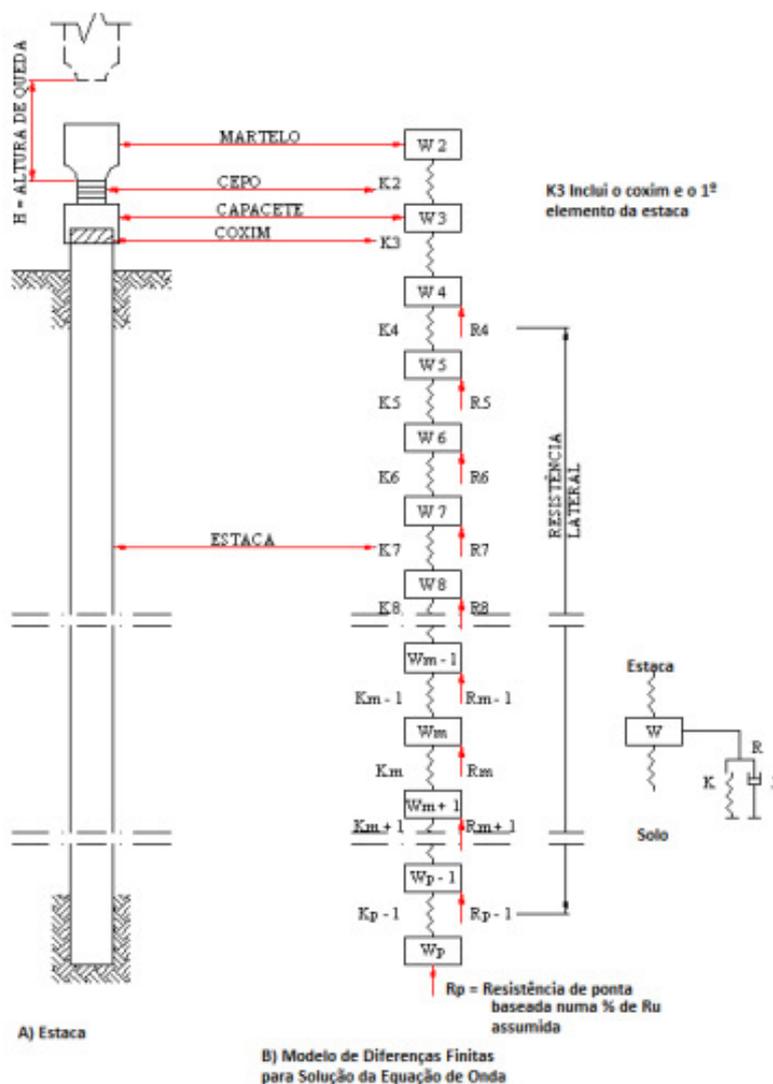


Figura 6: Modelo de Smith 1960

Fonte: Rojas Saldivar, 2008

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho, apresentada a seguir, foi elaborada para comparar os resultados obtidos através de cálculos para estimar a capacidade de carga de uma estaca pré-moldada de concreto por meio de métodos estáticos com os resultados obtidos com o ensaio de Prova de Carga Dinâmica em campo.

3.1 MATERIAIS

Serão utilizados para realização do ensaio de prova de prova de carga dinâmica em campo os seguintes materiais:

- Analisador de Cravação de Estacas - *Pile Driving Analyser* (PDA) – marca PDI Engenharia fornecida pela Geofund – Fundações Especiais.
- Características baseadas em solo real no seguinte relatório de sondagem:
 - Subsolo composto de uma camada de argila siltosa mole à média, com 4m de espessura, aproximadamente.
 - Argila arenosa média com pedregulhos finos, com aproximadamente 1 m de espessura.
 - Argila siltosa sem pedregulhos, rija com espessura variando de 5m a 7m aproximadamente.
 - Silte argiloso mediamente compacto com espessura de aproximadamente 5m.
 - Silte arenoso mediamente compacto a muito compacto que se estende até o limite de penetrabilidade ao equipamento à percussão, em torno de 20m de profundidade.
 - Considerando ainda, o nível d'água a 3m da superfície.

3.2 MÉTODOS

Nesse trabalho serão efetuadas comparações de resultados entre os métodos de estimativas de capacidade de carga de estacas de concreto pré-

moldadas e o método de ensaio de campo para determinar a capacidade de carga de estacas.

Para a obtenção dos parâmetros de cálculos serão consideradas características estimadas de solo descritas no item 3.1., carga (máxima de 200 kN) e dimensão da estaca (17 cm x 17 cm).

Para a obtenção da estimativa de carga de cada estaca, serão utilizados os métodos semi-empíricos de Décourt e Quaresma (1978) e de Aoki e Velloso (1975). De posse desses dados, serão realizados três ensaios de prova de carga dinâmica em estacas de concreto para confrontar com as estimativas dos métodos.

O ensaio de carregamento dinâmico (ECD) será executado conforme a norma NBR 13208 (2007) – Estacas: Ensaio de Carregamento Dinâmico e a norma NBR 6122 (2010) – Projeto e execução de Fundações. Os dados obtidos serão monitorados, armazenados e transferidos para um computador, e ajustados com o uso do Software PDA-W, versão 2010.100, onde serão verificados itens tais como velocidade de propagação da onda, análise da integridade do elemento estrutural e avaliações da capacidade de suporte (métodos CASE e CAPWAP).

No programa de análise dos sinais, serão escolhidos os sinais de maior energia dentre os vários obtidos em campo para cada estaca.

Depois de obtidos os resultados das capacidades de carga de cada estaca, será efetuada uma comparação com os modelos semi-empíricos de cálculos, a fim de saber qual dos métodos se aproxima mais do ensaio em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO AOKI-VELLOSO (1975)

4.1.1 Estaca AE07P04

Os dados de sondagem utilizados para o cálculo da resistência da estaca AE07P04 são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Sondagem de campo AE07P04

| Estaca 01 | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|---------|--------------|
| Profundidade até (m) | Tipo de solo | N _{SPT} | K (kPa) | α (%) |
| -1 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -2 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -3 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -4 | Argila | 6 | 200 | 6 |
| -5 | Argila | 9 | 200 | 6 |
| -6 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -7 | Argila | 6 | 200 | 6 |
| -8 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -9 | Argila | 8 | 200 | 6 |
| -10 | Argila | 15 | 200 | 6 |
| -11 | Argila | 12 | 200 | 6 |
| -12 | Argila | 10 | 200 | 6 |
| -13 | Silte Argiloso | 9 | 230 | 3,4 |
| -14 | Silte Argiloso | 8 | 230 | 3,4 |
| -15 | Silte Arenoso | 11 | 550 | 2,2 |
| -16 | Silte Arenoso | 13 | 550 | 2,2 |
| -17 | Silte Arenoso | 16 | 550 | 2,2 |
| -18 | Silte Arenoso | 22 | 550 | 2,2 |
| -19 | Silte Arenoso | 30 | 550 | 2,2 |

| | | | | |
|-----|---------------|----|-----|-----|
| -20 | Silte Arenoso | 25 | 550 | 2,2 |
| -21 | Silte Arenoso | 54 | 550 | 2,2 |

Fonte: Geofund – Fundações Especiais

Considerando o tipo de solo metro a metro, foi compilado o valor da resistência última do elemento de fundação. As características das estacas foram adotadas conforme descrito no capítulo 3 deste trabalho. Após a análise, os parâmetros obtidos são os descritos na tabela 7, onde R é a resistência total da estaca.

Tabela 7: Memória de Cálculo segundo método Aoki-Velloso AE07P04

| L_{ESTACA} (m) | RL_{a cada metro} (kN) | RL_{acumulada} (kN) | RP (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|
| 1 | 0 | 0 | 24 | 24 |
| 2 | 17 | 17 | 24 | 41 |
| 3 | 17 | 34 | 29 | 62 |
| 4 | 20 | 54 | 43 | 97 |
| 5 | 30 | 84 | 33 | 117 |
| 6 | 24 | 108 | 29 | 136 |
| 7 | 20 | 128 | 33 | 161 |
| 8 | 24 | 151 | 38 | 190 |
| 9 | 27 | 178 | 72 | 250 |
| 10 | 50 | 229 | 57 | 286 |
| 11 | 40 | 269 | 48 | 317 |
| 12 | 34 | 303 | 49 | 352 |
| 13 | 20 | 323 | 44 | 366 |
| 14 | 18 | 340 | 144 | 484 |

Fonte: Autoria própria

Segundo a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO..., 2010), a resistência última de trabalho deverá ser no mínimo duas vezes maior que a resistência requerida pelo projeto. Desta forma, analisando a tabela 7 o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 200 kN é 14 metros. E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 7.

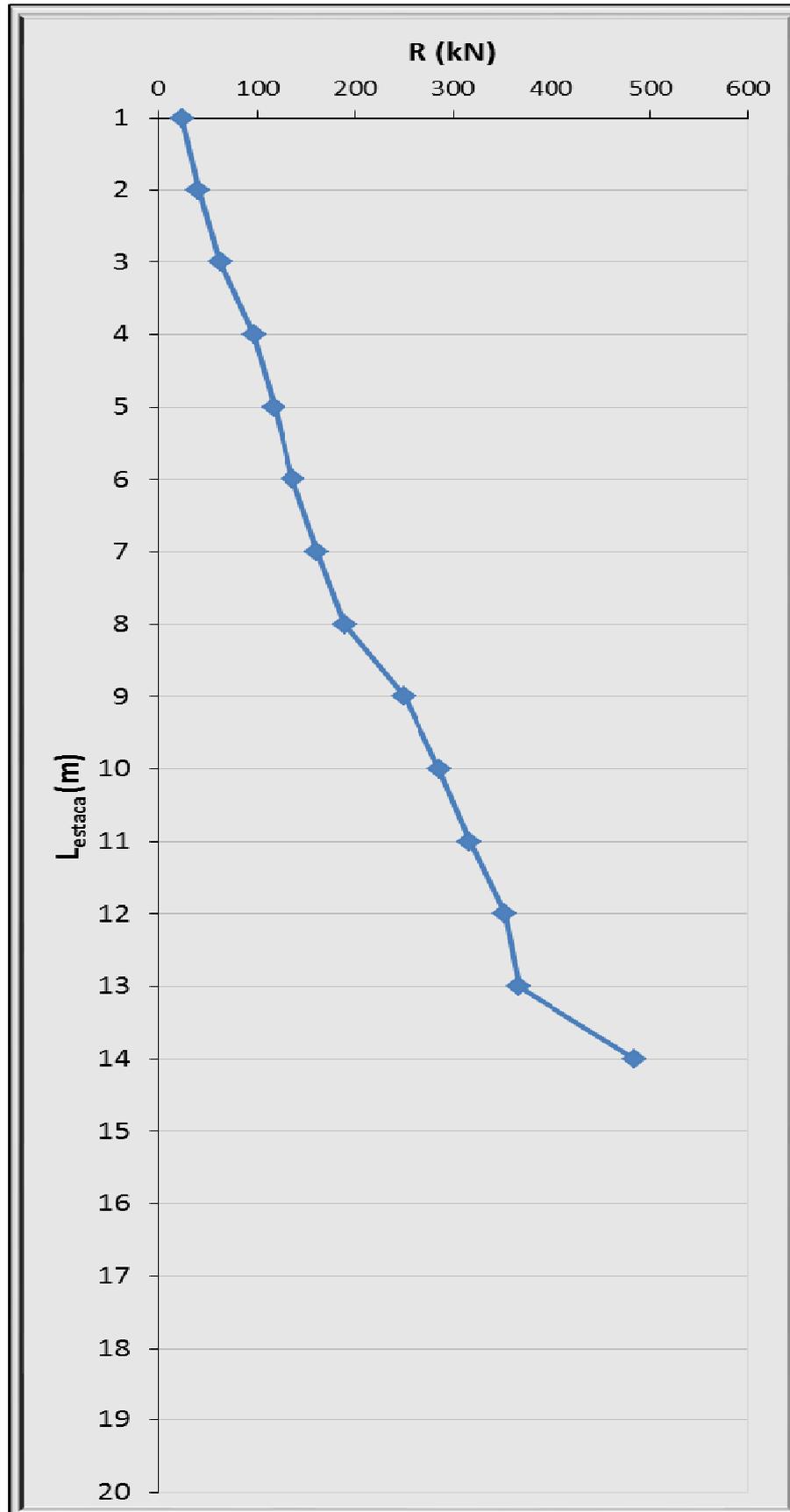


Figura 7: Variação da resistência ao longo da estaca AE07P04

Fonte: Autoria própria

4.1.2 Estaca P11E20

Os dados de sondagem utilizados para o cálculo da resistência da estaca P11E20 são apresentados na tabela. Sendo 1 para solo tipo argila, 2 para silte argiloso, 3 para silte arenoso e 4 para areia.

Tabela 8: Sondagem de campo P11E20

| Estaca P11E20 | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|---------|-------|
| Profundidade até (m) | Tipo de solo | N _{SPT} | K (kPa) | α (%) |
| -1 | Argila | 4 | 200 | 6 |
| -2 | Argila | 4 | 200 | 6 |
| -3 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -4 | Argila | 6 | 200 | 6 |
| -5 | Argila | 9 | 200 | 6 |
| -6 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -7 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -8 | Argila | 10 | 200 | 6 |
| -9 | Argila | 14 | 200 | 6 |
| -10 | Argila | 9 | 200 | 6 |
| -11 | Silte Argiloso | 7 | 230 | 3,4 |
| -12 | Silte Argiloso | 8 | 230 | 3,4 |
| -13 | Silte Argiloso | 8 | 230 | 3,4 |
| -14 | Silte Argiloso | 10 | 230 | 3,4 |
| -15 | Silte Argiloso | 13 | 230 | 3,4 |
| -16 | Silte Arenoso | 14 | 550 | 2,2 |
| -17 | Silte Arenoso | 19 | 550 | 2,2 |
| -18 | Silte Arenoso | 24 | 550 | 2,2 |
| -19 | Silte Arenoso | 36 | 550 | 2,2 |
| -20 | Silte Arenoso | 50 | 550 | 2,2 |

| | | | | |
|-----|---------------|----|-----|-----|
| -21 | Silte Arenoso | 50 | 550 | 2,2 |
|-----|---------------|----|-----|-----|

Fonte: Geofund – Fundações Especiais

Após a análise, os parâmetros obtidos são os descritos na tabela 9, onde R é a resistência total da estaca.

Tabela 9: Memória de Cálculo segundo método Aoki-Velloso P11E20

| L_{ESTACA} (m) | R_L a cada metro (kN) | R_L acumulada (kN) | R_p (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 0 | 0 | 19 | 19 |
| 2 | 13 | 13 | 33 | 47 |
| 3 | 24 | 37 | 29 | 66 |
| 4 | 20 | 57 | 43 | 100 |
| 5 | 30 | 87 | 33 | 121 |
| 6 | 24 | 111 | 33 | 144 |
| 7 | 24 | 135 | 48 | 182 |
| 8 | 34 | 168 | 67 | 235 |
| 9 | 47 | 215 | 43 | 258 |
| 10 | 30 | 246 | 38 | 284 |
| 11 | 15 | 261 | 44 | 305 |
| 12 | 18 | 279 | 44 | 322 |
| 13 | 18 | 296 | 55 | 351 |
| 14 | 22 | 318 | 71 | 389 |
| 15 | 29 | 347 | 184 | 530 |

Fonte: Autoria própria

Analisando a tabela 9 o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 20 tf (200 kN) é 14 metros, embora não tenha alcançado o dobro do valor requerido, adota-se o valor mais próximo. E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 8.

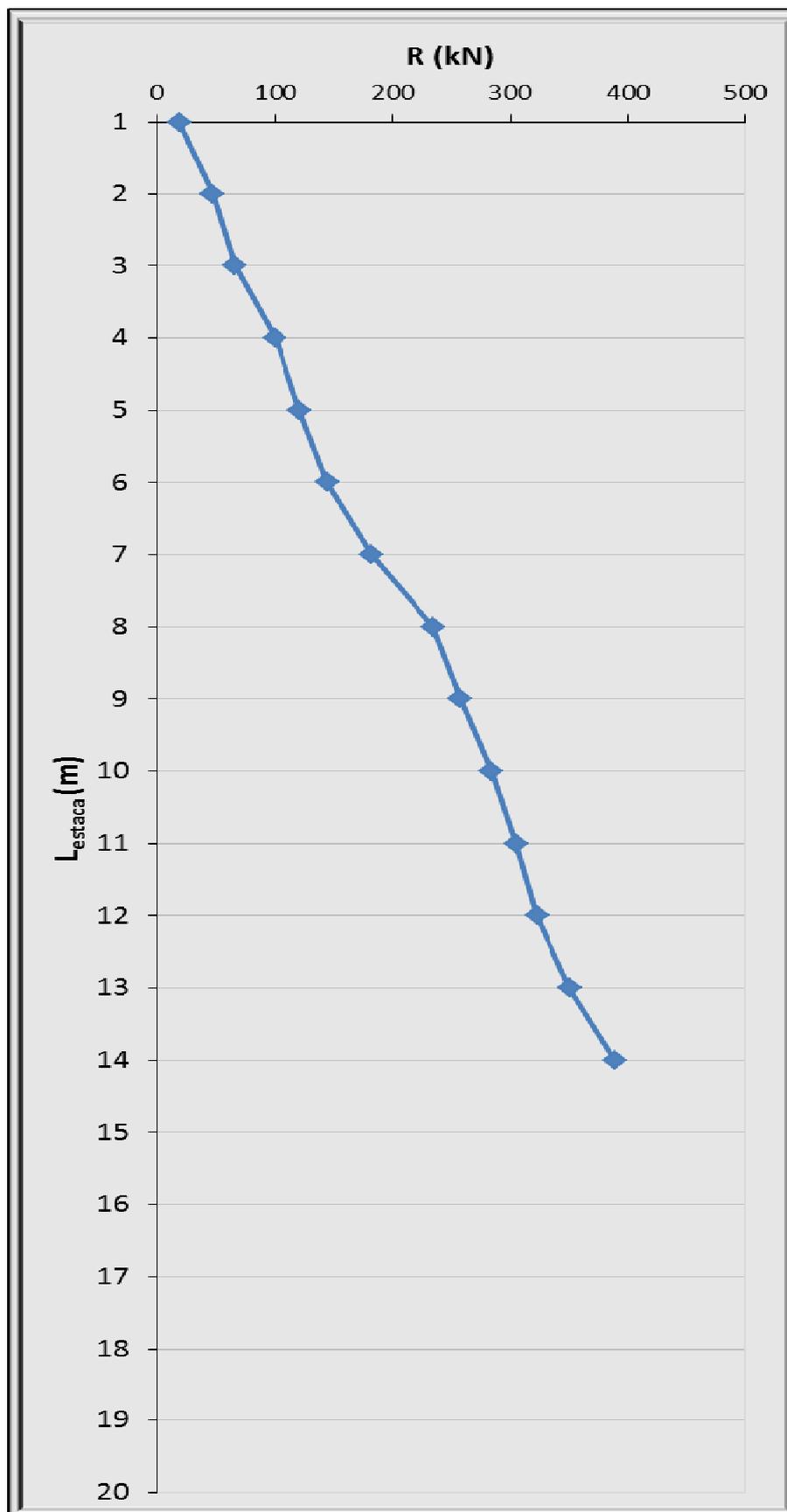


Figura 8: Variação da resistência ao longo da estaca P11E20

Fonte: Autoria própria

4.1.3 Estaca P18E31

Os dados de sondagem utilizados para o cálculo da resistência da estaca P18E31 são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Sondagem de campo P18E31

| Estaca P18E31 | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|---------|-------|
| Profundidade até (m) | Tipo de solo | N _{SPT} | K (kPa) | α (%) |
| -1 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -2 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -3 | Argila | 5 | 200 | 6 |
| -4 | Argila | 6 | 200 | 6 |
| -5 | Argila | 9 | 200 | 6 |
| -6 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -7 | Argila | 6 | 200 | 6 |
| -8 | Argila | 7 | 200 | 6 |
| -9 | Argila | 8 | 200 | 6 |
| -10 | Argila | 15 | 200 | 6 |
| -11 | Argila | 12 | 200 | 6 |
| -12 | Argila | 10 | 200 | 6 |
| -13 | Silte Argiloso | 9 | 230 | 3,4 |
| -14 | Silte Argiloso | 8 | 230 | 3,4 |
| -15 | Silte Arenoso | 11 | 550 | 2,2 |
| -16 | Silte Arenoso | 13 | 550 | 2,2 |
| -17 | Silte Arenoso | 16 | 550 | 2,2 |
| -18 | Silte Arenoso | 22 | 550 | 2,2 |
| -19 | Silte Arenoso | 30 | 550 | 2,2 |
| -20 | Silte Arenoso | 25 | 550 | 2,2 |
| -21 | Silte Arenoso | 54 | 550 | 2,2 |

Fonte: Geofund – Fundações Especiais

Após a análise, os parâmetros obtidos são os descritos na tabela 11.

Tabela 11: Memória de Cálculo segundo método Aoki-Velloso P18E31

| L_{ESTACA} (m) | R_L a cada metro (kN) | R_L acumulada (kN) | R_p (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 0 | 0 | 24 | 24 |
| 2 | 17 | 17 | 24 | 41 |
| 3 | 17 | 34 | 24 | 57 |
| 4 | 17 | 50 | 29 | 79 |
| 5 | 20 | 71 | 43 | 114 |
| 6 | 30 | 101 | 33 | 134 |
| 7 | 24 | 125 | 29 | 153 |
| 8 | 20 | 145 | 33 | 178 |
| 9 | 24 | 168 | 38 | 206 |
| 10 | 27 | 195 | 72 | 267 |
| 11 | 50 | 246 | 57 | 303 |
| 12 | 40 | 286 | 48 | 334 |
| 13 | 34 | 320 | 49 | 369 |
| 14 | 20 | 339 | 105 | 444 |
| 15 | 27 | 367 | 144 | 511 |

Fonte: Autoria própria.

Analisando a tabela 11, o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 20 tf (200 kN) é 14 metros, E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 9.

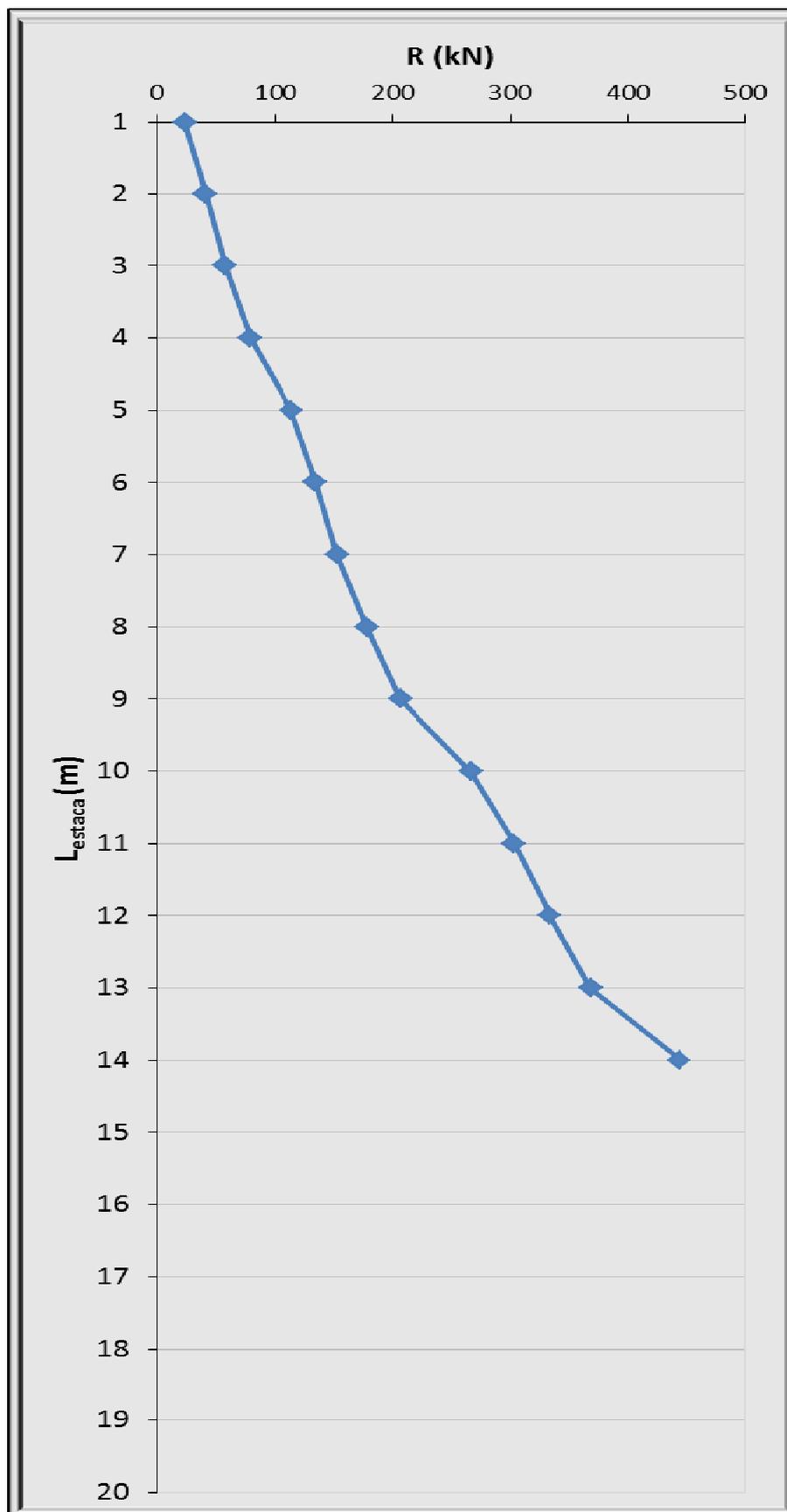


Figura 9: Variação da resistência ao longo da estaca P18E31

Fonte: Autoria própria

Um resumo dos valores de resistência obtidos é apresentado na tabela 12.

Tabela 12: Resumo Resistência segundo Método Aoki e Velloso

| Estaca | Resistência Total (tf) | Comprimento Cravado (m) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|
| AE07P04 | 48,4 | 14 |
| P11E20 | 38,9 | 14 |
| P18E31 | 44,4 | 14 |

Fonte: Autoria própria

4.2 RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO DECOURT E QUARESMA (1978)

4.2.1 Estaca AE07P04

Após a análise, os parâmetros obtidos estão descritos na tabela 13, onde R é a resistência total da estaca.

Tabela 13: Memória de Cálculo segundo método Decourt e Quaresma AE07P04

| L_{ESTACA} (m) | R_L a cada metro (kN) | R_L acumulada (kN) | R_p (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 5 | 17 | 17 | 9 |
| 2 | 9 | 26 | 18 | 13 |
| 3 | 14 | 41 | 23 | 20 |
| 4 | 21 | 62 | 25 | 31 |
| 5 | 27 | 88 | 25 | 44 |
| 6 | 32 | 120 | 23 | 60 |
| 7 | 37 | 157 | 24 | 79 |
| 8 | 44 | 201 | 35 | 100 |
| 9 | 54 | 255 | 40 | 127 |
| 10 | 62 | 317 | 43 | 159 |
| 11 | 70 | 387 | 36 | 193 |
| 12 | 77 | 463 | 31 | 232 |
| 13 | 83 | 546 | 54 | 273 |
| 14 | 91 | 637 | 62 | 318 |
| 15 | 100 | 736 | 96 | 368 |
| 16 | 111 | 847 | 123 | 423 |

Fonte: Autoria própria

Analisando a tabela 13 o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 20 tf é 16 metros. E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 10.

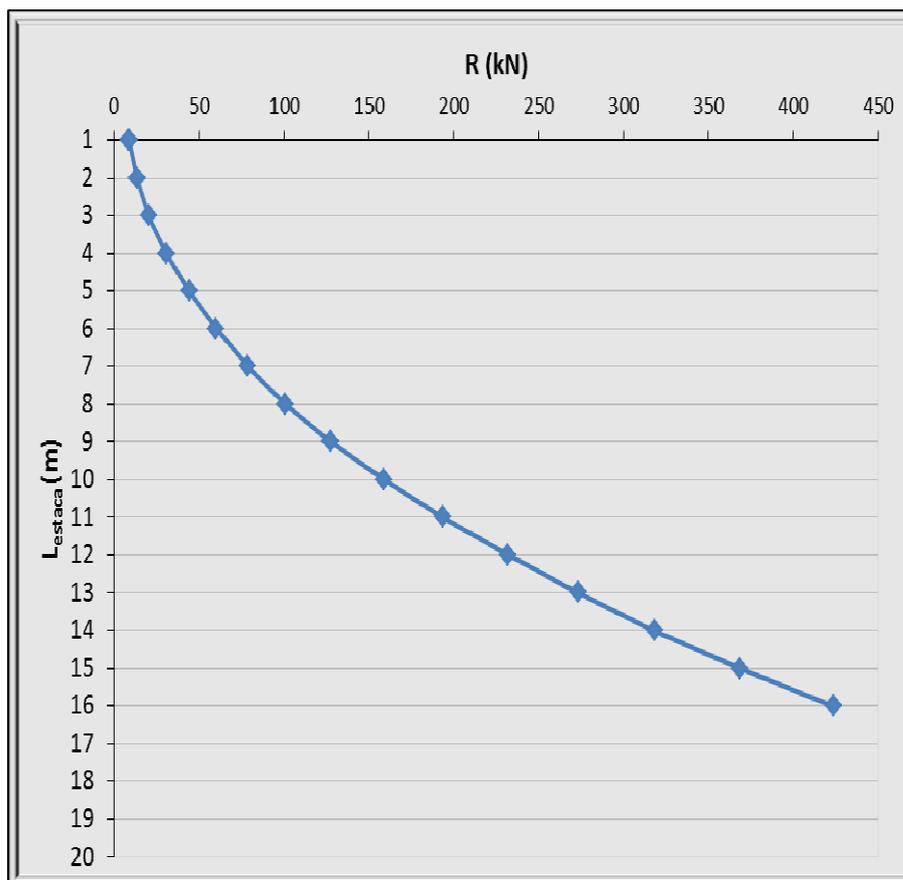


Figura 10: Variação da resistência ao longo da estaca AE07P04

Fonte: Autoria própria

4.2.2 Estaca P11E20

Após a análise, os parâmetros obtidos são os descritos na tabela 14, onde R é a resistência total da estaca.

Tabela 14: Memória de Cálculo segundo método Decourt e Quaresma P11E20

| L_{ESTACA} (m) | R_L a cada metro (kN) | R_L acumulada (kN) | R_P (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 4 | 64 | 64 | 32 |
| 2 | 10 | 73 | 66 | 37 |
| 3 | 15 | 88 | 85 | 44 |
| 4 | 22 | 109 | 85 | 55 |
| 5 | 27 | 137 | 89 | 68 |
| 6 | 33 | 170 | 92 | 85 |
| 7 | 40 | 210 | 119 | 105 |
| 8 | 50 | 260 | 127 | 130 |
| 9 | 57 | 316 | 116 | 158 |
| 10 | 62 | 379 | 46 | 189 |
| 11 | 69 | 447 | 44 | 224 |
| 12 | 75 | 522 | 50 | 261 |
| 13 | 82 | 604 | 60 | 302 |

| | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------------|
| 14 | 91 | 695 | 71 | 348 |
| 15 | 101 | 796 | 111 | 398 |
| 16 | 113 | 910 | 137 | 455 |

Fonte: Autoria própria

Analisando a tabela 14 o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 20 tf (200 kN) é 15 metros. E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 11.

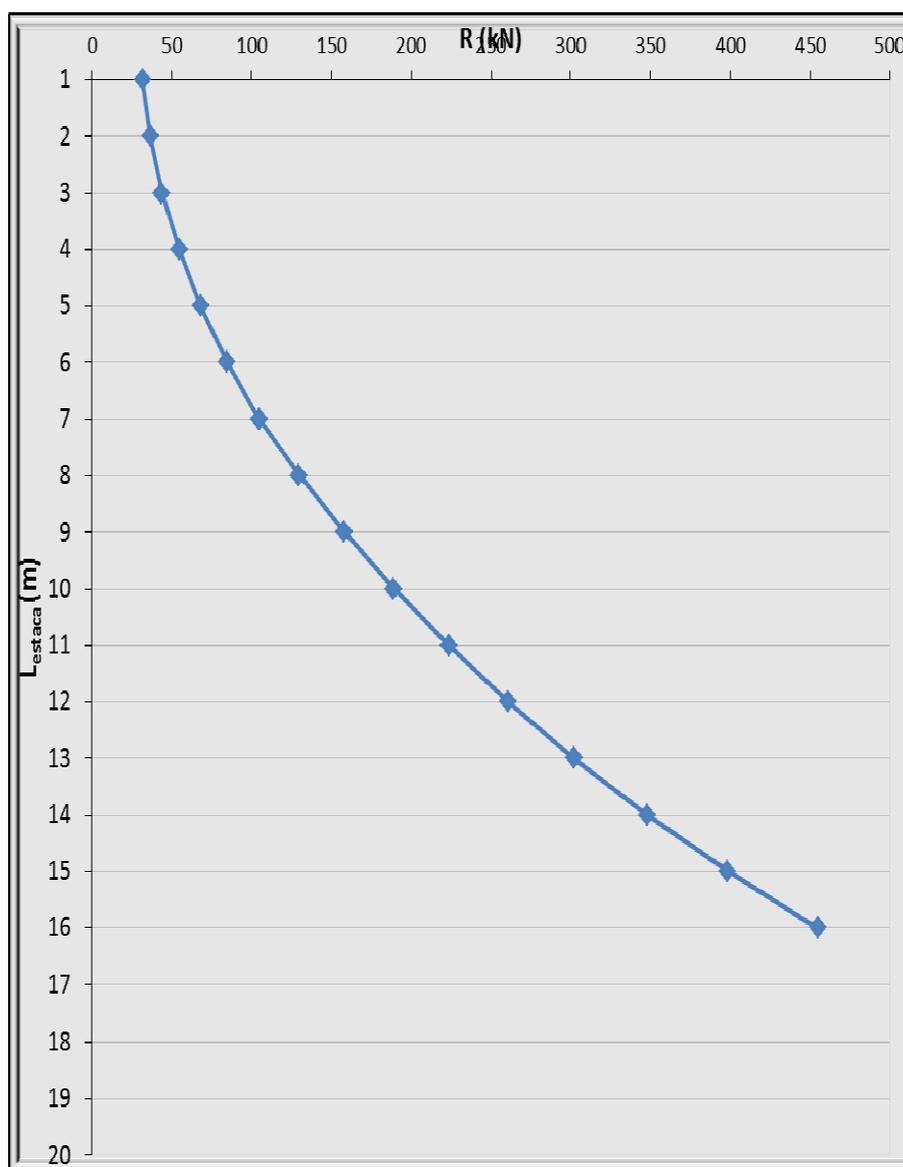


Figura 11: Variação da resistência ao longo da estaca P11E20

Fonte: Autoria própria

4.2.3 Estaca P18E31

Após a análise, os parâmetros obtidos são os descritos na tabela 15.

Tabela 15: Memória de Cálculo segundo método Decourt e Quaresma (1978)

| L_{ESTACA} (m) | R_L a cada metro (kN) | R_L acumulada (kN) | R_p (kN) | R (kN) |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 5 | 58 | 58 | 29 |
| 2 | 9 | 67 | 58 | 33 |
| 3 | 14 | 80 | 62 | 40 |
| 4 | 19 | 99 | 77 | 50 |
| 5 | 26 | 125 | 85 | 62 |
| 6 | 31 | 156 | 85 | 78 |
| 7 | 36 | 192 | 77 | 96 |
| 8 | 42 | 234 | 81 | 117 |
| 9 | 48 | 282 | 116 | 141 |
| 10 | 58 | 341 | 135 | 170 |
| 11 | 67 | 407 | 143 | 204 |
| 12 | 74 | 482 | 119 | 241 |
| 13 | 81 | 563 | 52 | 281 |
| 14 | 87 | 650 | 67 | 325 |
| 15 | 95 | 745 | 77 | 373 |
| 16 | 104 | 849 | 96 | 425 |

Fonte: Autoria própria.

Analisando a tabela 15, o comprimento de estaca que garanta a resistência requerida de 20 tf (200 kN) é 16 metros, E a variação da resistência ao longo do comprimento da estaca pode ser observada na figura 12.

Para valores de cálculos, os parâmetros utilizados para este método conforme tipo de solo das tabelas 6, 8 e 10 são as seguintes:

Para Solo tipo argila – $C(\text{kPa}) = 120$, $F1 = 1,21$ e $F2=2,425$.

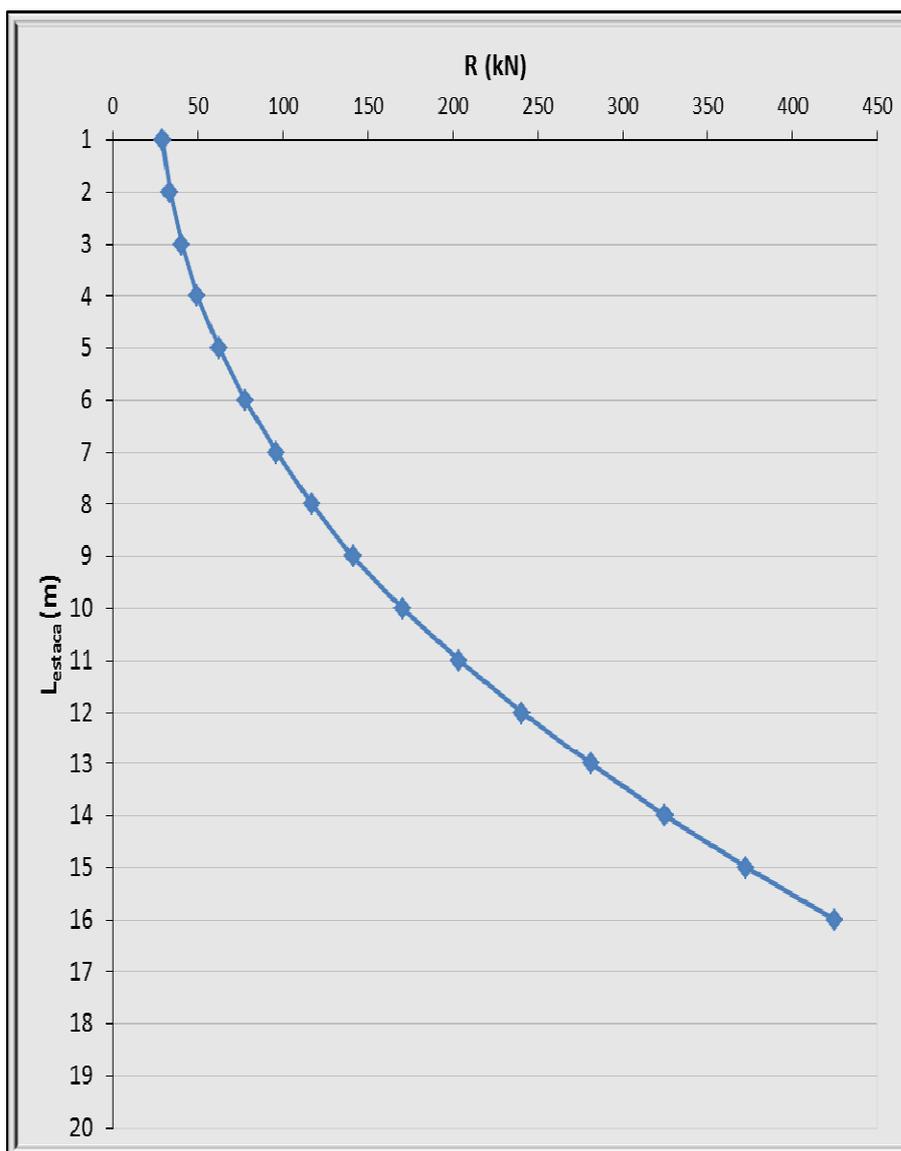


Figura 12: Variação da resistência ao longo da estaca
Fonte: Autoria própria

Um resumo dos valores de resistência obtidos é apresentado na tabela 16.

Tabela 16: Resumo Resistência segundo Método Decourt e Quaresma (1978)

| Estaca | Resistência Total (kN) | Comprimento Cravado (m) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|
| AE07P04 | 423 | 16 |
| P11E20 | 398 | 15 |
| P18E31 | 373 | 15 |

Fonte: Autoria própria

4.3 RESULTADOS OBTIDOS MÉTODO ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

O ensaio de carregamento dinâmico foi realizado nas três estacas estudadas anteriormente em situação de campo igual à de sondagem utilizada nesse trabalho, segundo ainda a NBR 13.208-Estacas, Ensaio de carregamento dinâmico.

Para fazer a análise, foi necessário anotar dados em campo como comprimento real cravado, comprimento total do elemento da estaca, cota acima dos sensores do PDA, nega, peso do martelo de impacto de queda livre. Após a realização do ensaio, foi elaborado um relatório com as informações contidas abaixo.

O ensaio consistiu na fixação de um par de transdutores de força e acelerômetro, que permitem monitorar a propagação das ondas provocadas pelo golpe do martelo do bate estaca. Os pares de sensores foram instalados em posições opostas da cabeça da estaca, cujo objetivo é compensar os efeitos de excentricidade que podem ocorrer quando da aplicação dos golpes do martelo.

Os sinais de onda foram monitorados e armazenados em um Analisador de Cravação de Estacas (PDA), fabricado pela *Pile Dynamics, Inc (Model PAX)*.

Os dados depois de monitorados e armazenados foram transferidos para um computador, e ajustados com o uso do Software PDA-W, versão 2010.100, onde são verificados itens tais como velocidade de propagação da onda, análise da integridade do elemento estrutural e avaliações da capacidade de suporte (métodos CASE e CAPWAP).

Os dados do equipamento utilizado são:

- ✓ Fabricante: *Pile Dynamics, Inc*
- ✓ Modelo: PAX
- ✓ Processamento: PDA-L
- ✓ Sensores: 2 Acelerômetros Piezoresistivos, 2 de Deformação
- ✓ Martelo de impacto em queda livre pesando aproximadamente 2850 kg.

Em campo foi possível determinar o comprimento real cravado de cada estaca, o qual é apresentado na tabela 17.

Tabela 17: Resumo Especificações das estacas

| Estaca | Comprimento total (m) | Comprimento Cravado (m) | Seção (cmxcm) | Inclinação |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|
| AE07P04 | 16,0 | 14,54 | 17x17 | Vertical |
| P11E20 | 16,0 | 14,27 | 17x17 | Vertical |
| P18E31 | 16,0 | 14,50 | 17x17 | Vertical |

Fonte: Autoria própria

Previamente às análises, os sinais foram ajustados, tendo-se obtido as velocidades de propagação da onda da estaca ensaiada tendo como base a proporcionalidade entre o sinal de força e velocidade até o primeiro pico e, em algum (ns) caso(s), através da resposta de ponta.

A velocidade de onda ajustada para cada estaca pode ser visualizada no ANEXO 2 – RESULTADO CAPWAP no item Wave Speed.

O comportamento da estaca ensaiada foi analisado no programa CAPWAP. Esse tipo de análise é interativo, o qual envolve sinais de força e velocidade medidos em campo, estimativas da resistência estática do solo e parâmetros dinâmicos da estaca e do terreno.

A avaliação das resistências mobilizadas envolveu análises sucessivas dos sinais de ondas ascendentes (wave-up), observando-se como critério o melhor ajuste (match) entre os valores medidos.

Com relação às tensões aplicadas nos ensaios, pode-se dizer que as medidas de deformações específicas, juntamente com os valores de módulo de elasticidade dinâmico, permitem o cálculo das tensões de compressão médias (CSX) e de tração (TSX), geradas nas estacas por ocasião dos golpes do martelo. No anexo 1 podem ser encontrados os valores de CSX e TSX, calculados com o software PDA – W, para os golpes representativos dos ensaios. Determinações mais rigorosas das tensões dinâmicas são disponíveis para os golpes analisados com o programa CAPWAP (Anexo 2).

O programa de análise dos sinais dinâmicos (PDA-W) calcula um fator integrante (beta), que é útil para a avaliação da continuidade estrutural das estacas. Esse parâmetro indica um estreitamento relativo (ou, mais precisamente, a relação entre impedâncias) em cada seção da estaca. Além desse parâmetro, na análise do CAPWAP, é possível modelar o perfil do elemento, obtendo-se um parâmetro quantitativo para variações de impedância.

Nenhuma das estacas analisadas apresentou fatores betas, também, durante a modelagem no programa Capwap não foram necessárias alterações de impedância, ou seja, a integridade da estaca foi mantida durante os ensaios.

4.3.1 COMENTÁRIOS SOBRE OS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

O ensaio de carregamento dinâmico é realizado de forma a aumentar a energia de forma constante. Para isso, o martelo é solto inicialmente de uma altura de 20 cm, fazendo-se a leitura do ganho de carga e do deslocamento permanente. Para a estaca AE07P04 o ensaio iniciou-se em 20 cm, depois em 40cm, 60cm e 80cm, momento no qual o ensaio foi finalizado pois não houve mais ganho de carga e os deslocamentos permanentes foram bastante elevados. O golpe analisado foi o de altura de queda do martelo de 60cm, pois, além da máxima energia, seus deslocamentos ficaram dentro da margem recomendada para análise Capwap. Os valores de carga RMX obtidos para os demais golpes, via método Case, adotando-se o JC calculado de 0,66, podem ser visualizados no anexo 1 Resultados de Campo – Método Case.

Da mesma forma que na estaca AE07P11, foi realizado o ensaio com energias crescentes, iniciando em 20cm, 40cm, 60cm e 80cm, após este golpe o ensaio foi finalizado devido a perda de carga RMX e deslocamento permanente elevado. O golpe analisado foi o de altura de queda de 20cm, pois foi o golpe de maior energia e com deslocamento dentro das margens recomendadas para análise Capwap. Os valores de carga RMX para os demais golpes podem ser visualizados no Anexo 02 – Resultados de Campo – Método Case.

Para a estaca P18E31, o ensaio de energias crescentes, iniciando em 20, 40, 60 e 80cm, ensaio paralisado devido a queda na carga RMX e deslocamento permanente elevado. Foi realizada a cravação de 40cm da estaca e executado novo ensaio, também com alturas crescentes de 20, 40, 60 e 80cm. A análise do golpe foi o de altura de queda de 40cm, obtido durante o primeiro ensaio, ou seja, antes da cravação de mais 40cm da estaca. A escolha desse golpe foi pela sua maior energia em relação aos demais e pelo deslocamento dentro dos limites recomendados para análise Capwap.

É importante monitorar todas as tensões das estacas durante o ensaio a fim de evitar danos nas mesmas.

A tabela 18 apresenta os principais resultados obtidos na análise CAPWAP para os golpes de maior energia, ou seja, para os golpes em que na medida em que a altura de queda do martelo aumenta, a resistência mobilizada também aumenta e sem provocar dano à estaca.

Tabela 18: Resumo resultados obtidos

| Estaca | Golpe utilizado | Set-up | Resistência total (kN) | JC |
|---------------|------------------------|---------------|-------------------------------|-----------|
| AE07P04 | 4 | 1 | 614 | 0,66 |
| P11E20 | 10 | 1 | 621 | 0,73 |
| P18E31 | 3 | 1 | 528 | 0,66 |

Fonte: Autoria própria

Os resultados das análises CAPWAP foram utilizados para estimar fatores de amortecimento (J_c) do método Case (máxima resistência – RMX). No anexo 1, informações mais detalhadas estão disponíveis, tais como a resistência mobilizada em cada golpe (método CASE), medições de nega, energia transferida à estaca e tensões geradas.

No anexo 2 podem ser encontradas detalhes das análises CAPWAP, tais como parâmetros dos modelos da estaca e do solo utilizados e uma simulação da prova de carga estática.

Deve-se observar que a resistência que é mobilizada em um dado golpe depende de sua energia e magnitude dos deslocamentos resultantes.

De um modo geral, golpes de pequena energia tendem a provocar deslocamentos permanentes (negas) reduzidos, mobilizando apenas uma parcela da resistência do sistema estaca-solo.

À medida que aumenta o valor da nega, devido à acréscimos de energia do golpe aplicado, o valor da resistência mobilizada se aproxima ou pode corresponder à capacidade de suporte na ruptura.

O emprego de alturas de queda crescentes, prática corrente no Brasil, é útil para avaliar até que ponto as resistências medidas no ensaio efetivamente correspondem à plena mobilização do atrito lateral e da resistência de ponta. Nos

ensaios, as alturas de queda do martelo foram controladas de forma a se evitar tensões, que pudessem danificar as estacas.

A capacidade de suporte de uma estaca cravada depende do período de *set-up* (tempo de repouso, durante o qual a capacidade de carga da estaca pode variar até atingir um valor de equilíbrio).

5 CONCLUSÃO

Após a realização dos cálculos de estimativa de capacidade de carga e da execução do ensaio de carregamento dinâmico, podem-se comparar os resultados obtidos e apresentá-los na tabela 19.

Tabela 19: Resumo dos resultados obtidos de cada método

| Estaca | Método Aoki-Velloso (tf) | Comprimento Cravado Sugerido (m) | Método Decourt e Quaresma (tf) | Comprimento Cravado Sugerido (m) | Método PDA (tf) | Comprimento real cravado (m) |
|---------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------------|
| AE07P04 | 48,4 | 14 - 1 = 13 | 42,3 | 16 - 1 = 15 | 61,4 | 14,54 |
| P11E20 | 38,9 | 14 - 1 = 13 | 39,8 | 15 - 1 = 14 | 62,1 | 14,27 |
| P18E31 | 44,4 | 14 - 1 = 13 | 37,3 | 15 - 1 = 14 | 52,8 | 14,50 |

Fonte: Autoria própria

Considerando que as estacas analisadas têm o comprimento de 16,00 metros total, e o comprimento cravado total é apresentado na tabela 19, é possível dizer que para o cálculo de estimativa de capacidade de carga, o método mais próximo do ensaio de campo foi Aoki –Velloso. Este método é um dos mais utilizados no Brasil e verifica que para 13 metros cravados, a estaca já obteria o valor mínimo de costume de duas vezes a carga do projeto solicitante; mesmo que para a estaca P11E20 esse valor não tenha sido alcançado; adota-se o valor mais próxima de 40 tf (valor duas vezes maior que a carga de projeto de 20 tf).

O método PDA considera valores reais de campo para fazer a análise e, é importante ressaltar que na medida em que o tempo de setup ou cravação aumenta a resistência lateral e de ponta da estaca também aumentam.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para pesquisas futuras, destacam-se a análise melhor dos dados gerados pelo método de determinação da capacidade de carga PDA, ou seja, pelos métodos dinâmicos, as equações de onda utilizadas para os cálculos do programa, uma vez que nesse trabalho esse método foi considerado como mais usual e preciso para determinar a capacidade de carga em estacas. Outra sugestão

é fazer um estudo melhor sobre o tempo de *set-up* e sua interferência no resultado final da resistência da estaca.

Ressalta-se também a análise e comparação de várias estacas e diferenças geométricas e geotécnicas para obter um resultado mais preciso sobre os métodos analisados. Desta maneira estendendo-se as conclusões a uma amostra maior de pesquisa

6 REFERÊNCIAS

ANDRAOS, N. C. **Ensaio de Carregamento dinâmico em estacas moldadas in loco: Contribuições para a seleção do sistema de impacto e amortecimento a partir de retro-análise**. 224 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13208**: Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método Ensaio, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios – Procedimentos, 1983.

BERNARDES, G.P., **Dynamic and Static Testing of Large Model Piles in Sand**, Tese (Doutorado), Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1989.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **FUNDAÇÕES POR ESTACAS**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

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

DYMINSKI, A. S., **Análise de problemas Geotécnicos Através de Redes Neurais**, Tese. Departamento de Engenharia Civil da PUC/Rio, Rio de Janeiro, 2000.

GEOFUND FUNDAÇÕES ESPECIAIS. **Descrição PDA**, Curitiba, 2014.

GONÇALVES, C., ANDREO, S. C., BERNARDES, G.P., **Prova de Carga Dinâmica**, São Paulo: Copyright 1ª Edição, 1996.

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS E PAVIMENTAÇÃO. Disponível em: <<http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/04.pdf>>. Acesso em 17 julho 2014.

MARANGON, M. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Núcleo de Geotecnia**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF05-Funda%C3%A7%C3%B5es-Profundas-Estacas-Grande-Desloc.pdf>>. Acesso em 24 julho 2014.

MARCHEZINI, S. F.. **Comparação entre métodos estáticos e dinâmicos de previsão de capacidade de carga em estacas assentes em solo tropical**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

NIYAMA, S, NAVAJAS, S. Instrumentação e Monitoração do Teste de Cravação de uma Estaca num Solo Calcário na Bacia de Curimã, Ceará. VII **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, Olinda, Recife, 1982.

NIYAMA, S, Introdução de Ensaio Dinâmicos nas Obras de Fundações no Brasil – Breve Histórico. **Workshop: Controle de Qualidade de Fundações Através de PDA e PIT**, São Paulo, 2002.

Provas Dinâmicas e Instrumentação Engenharia Ltda – PDI Engenharia – Curso de Ensaio de Carregamento Dinâmico, Curitiba, 2009.

ROJAS SALVIVAR, R.E. **Retroanálise Probabilística Aplicada à Análise Dinâmica da Cravação de Estacas**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2008.

SCHNAID, F. **ENSAIOS DE CAMPO E SUAS APLICAÇÕES À ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SMITH, E.A.L.. Pile Driving Analysis by the wave equation, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**. Proc. Of American Society Civil Engineering (ASCE), agosto 1960, p 35 -61.

UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em:<http://www.ufrgs.br/demin/discpl_grad/geologia2/material/Fundacoes-ppt.pdf>. Acesso em 17 julho 2014.

VELLOSO, D. A., LOPES, F. R.. **FUNDAÇÕES**: Fundações Profundas. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2002.

VELLOSO, D. A., LOPES, F. R.. **FUNDAÇÕES**: Fundações Profundas. Volume 2. São Paulo: Oficina de Textos, Nova Edição, 2010.

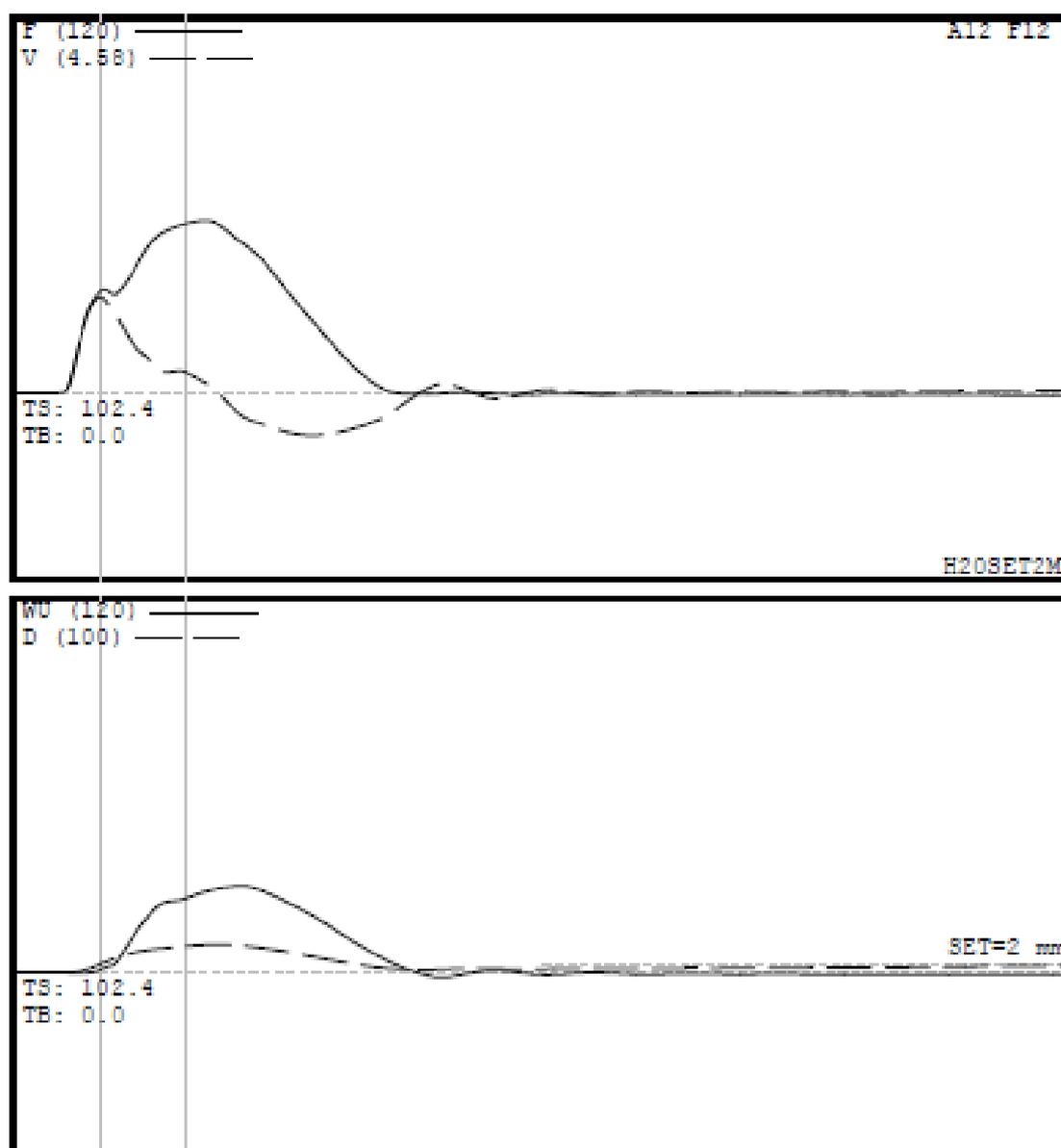
VELLOSO, D. A., LOPES, F. R..**FUNDAÇÕES**, VOLUME 1: Critérios de projeto – investigação do subsolo – Fundações Superficiais. São Paulo: Nova Ed., 2004.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE – ESTACA AE07P04

- Força (F) e Velocidade (V) medidas no nível dos sensores;
- Onda Ascendente (WU) e deslocamento (D) no nível dos sensores, ao longo do tempo.

AE07-PILAR 04



DESCRIÇÃO DO PROJETO

OME DA ESTACA AE07-PILAR 04
 DESCRIÇÃO : 17X17

ESTACA I: AE07-PILAR 04.W01

GOLPE : 2

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
 AR 289.00 cm²

WS 3700.0 m/s
 EA/C 26.2 tn-s/m
 2L/C 8.15 ms
 JC 0.66 []
 LP 14.5 m

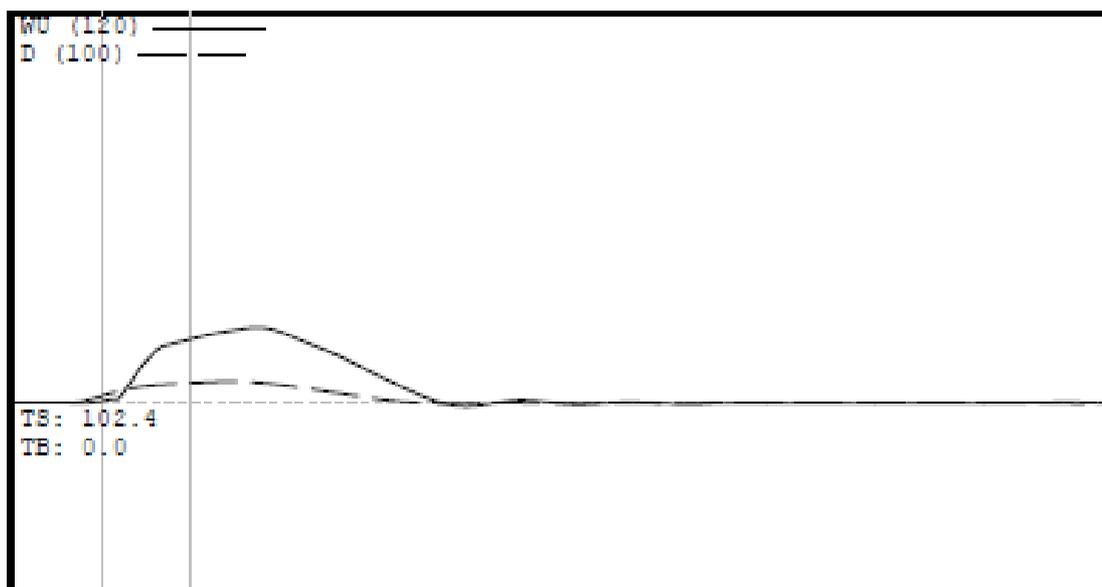
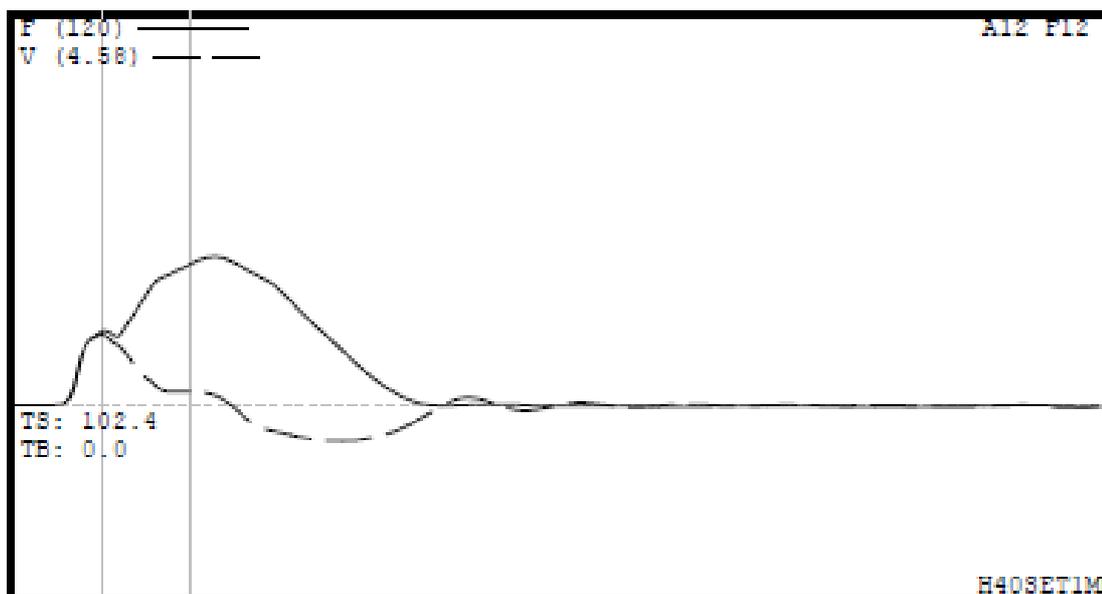
RESULTADOS

FMX 55 tn
 CSI 21.6 MPa
 FVP 1.1 []
 CSX 18.7 MPa
 TSX 1.6 MPa
 EMX 0.26 tn-m
 DMX 7 mm
 DFN 2 mm
 RMX 56 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
 F2: [E689] 94 (1)
 A1: [32708] 1090 g's/v (1)
 A2: [32709] 1080 g's/v (1)
 CLIP: OK
 F1/F2: HIGH 1.48
 V1/V2: OK 1.00

AE07-PILAR 04



DESCRIÇÃO DO PROJETO

ESTACA : AE07-PILAR 04
DESCRIÇÃO : 17X17

ESTACA : AE07-PILAR 04.W01

GOLPE : 3

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE : 15.1 m
AR : 289.00 cm²

WS : 3700.0 m/s
EA/C : 26.2 tn-s/m
2L/C : 8.15 ms
JC : 0.66 []
LP : 14.5 m

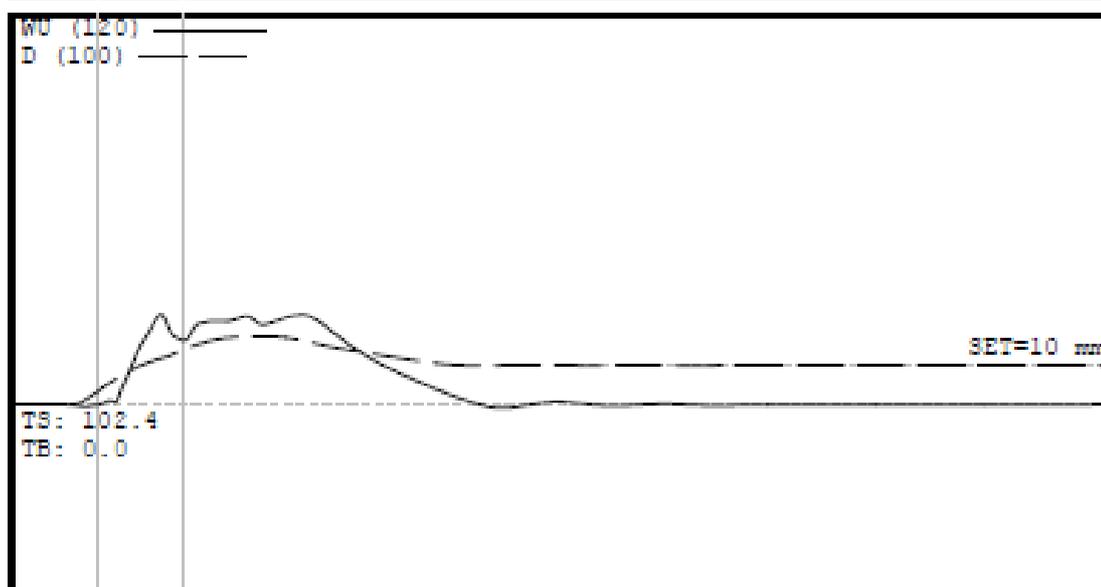
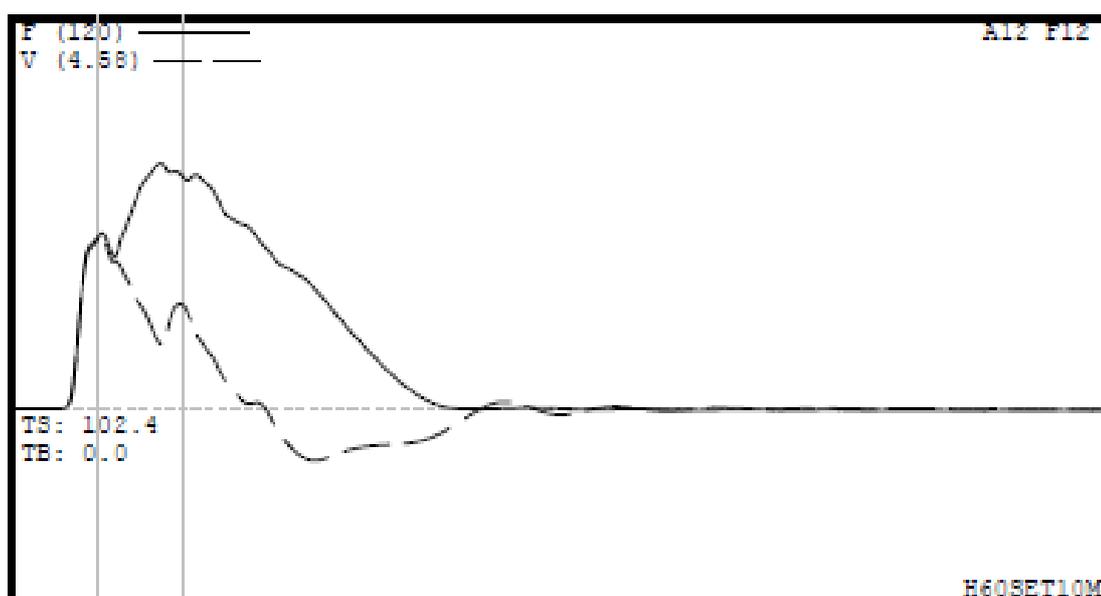
RESULTADOS

FMX : 45 tn
CSI : 19.1 MPa
FVP : 1.0 []
CSX : 15.4 MPa
TSX : 1.1 MPa
EMX : 0.14 tn-m
DMX : 5 mm
DFN : -0 mm
RMX : 46 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: HIGH 1.68
V1/V2: OK 0.99

AE07-PILAR 04



DESCRIÇÃO DO PROJETO

ESTACA AE07-PILAR 04
 DESCRIÇÃO 17X17
 ESTACA AE07-PILAR 04.W01

GOLPE r 4

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
 AR 289.00 cm²

WS 3700.0 m/s
 EA/C 26.2 tn-s/m
 2L/C 8.15 ms
 JC 0.66 []
 LP 14.5 m

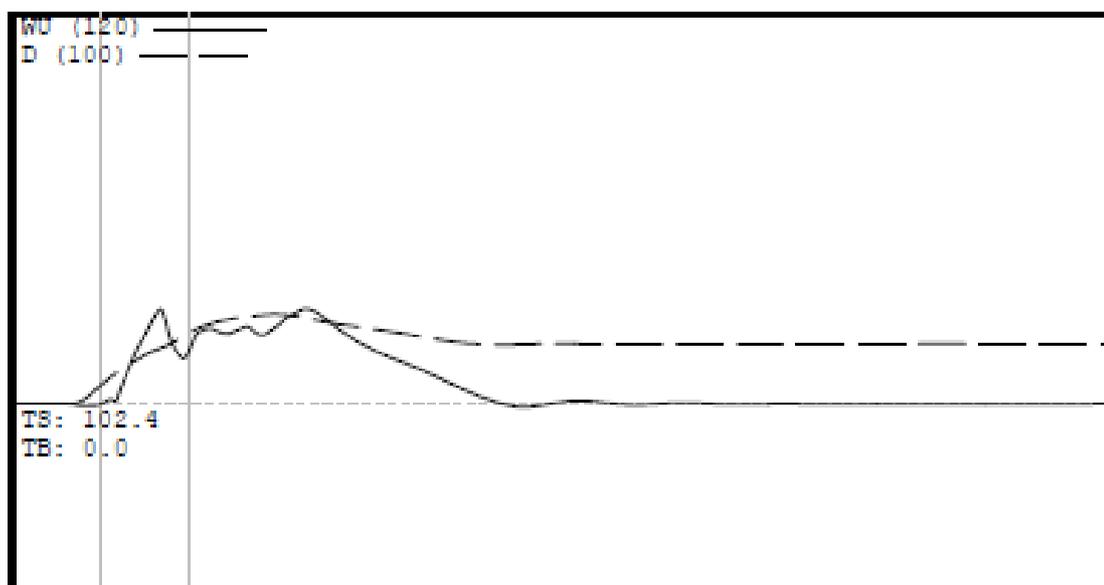
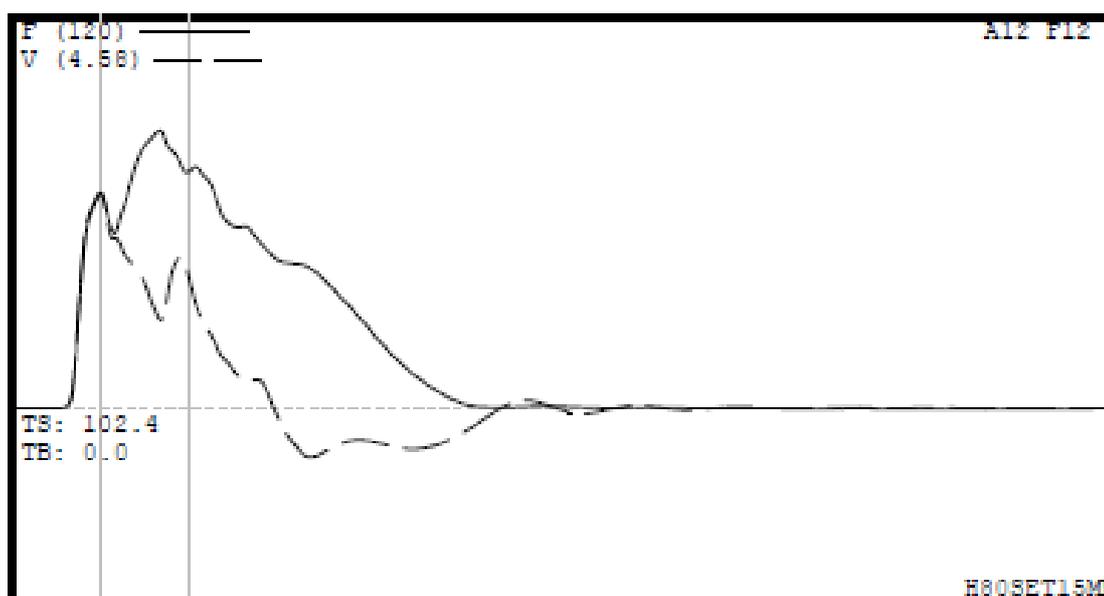
RESULTADOS

FMX 75 tn
 CSI 32.0 MPa
 FVP 1.0 []
 CSX 25.6 MPa
 TSX 1.5 MPa
 EMX 1.02 tn-m
 DMX 17 mm
 DFN 10 mm
 RMX 61 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
 F2: [E689] 94 (1)
 A1: [32708] 1090 g's/v (1)
 A2: [32709] 1080 g's/v (1)
 CLIP: OK
 F1/F2: HIGH 1.52
 V1/V2: OK 1.00

AEU7-PILAR U4

**PROPRIEDADES DA ESTACA**

ESTACA : AE07-PILAR 04
DESCR: 17X17

ESCRICÃO AE07-PILAR 04.W01

GOLPE : 5

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE : 15.1 m
AR : 289.00 cm²

WS : 3700.0 m/s
EA/C : 26.2 tn-s/m
2L/C : 8.15 ms
JC : 0.66 []
LP : 14.5 m

RESULTADOS :

FMX : 85 tn
CSI : 37.3 MPa
FVP : 1.0 []
CSX : 28.8 MPa
TSX : 1.5 MPa
EMX : 1.51 tn-m
DMX : 23 mm
DFN : 15 mm
RMX : 63 tn

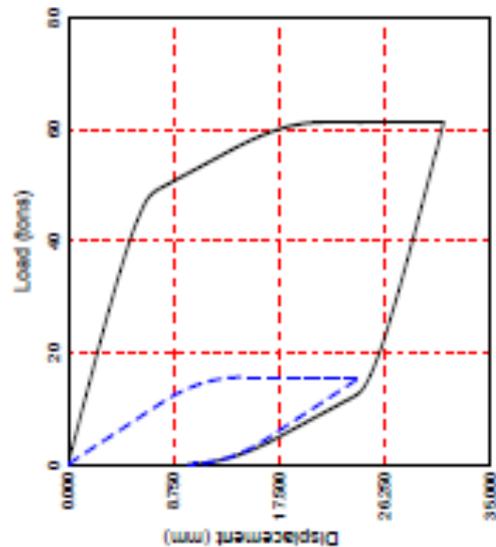
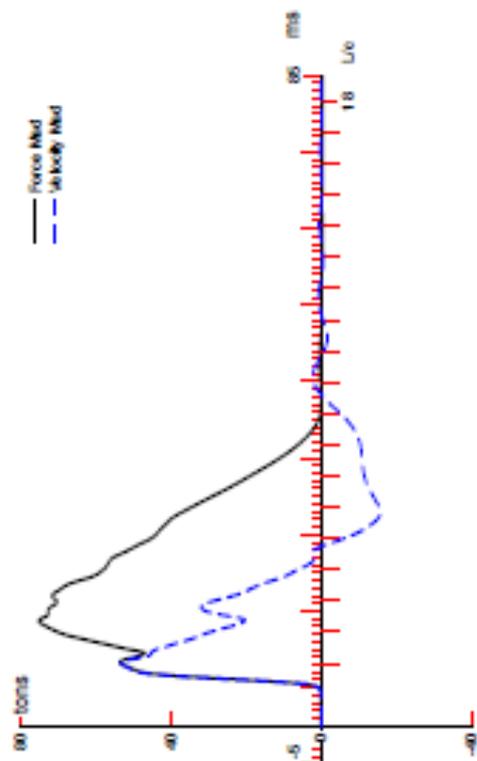
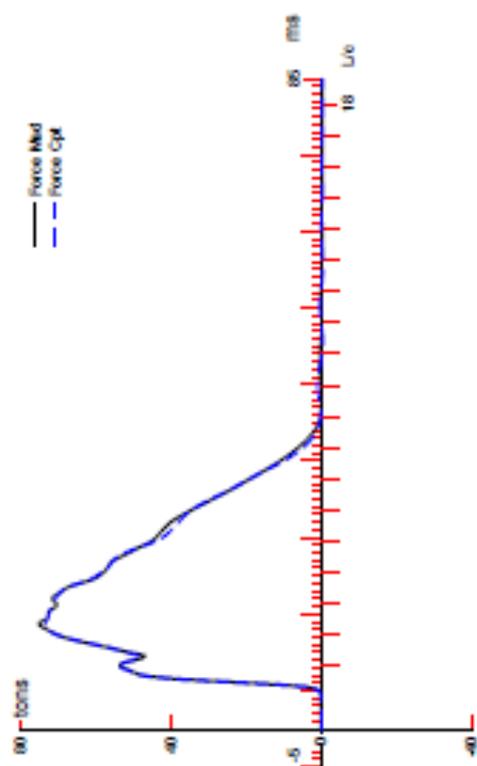
SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: HIGH 1.44
V1/V2: OK 0.99

7.2 RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP – ESTACA AE07P04

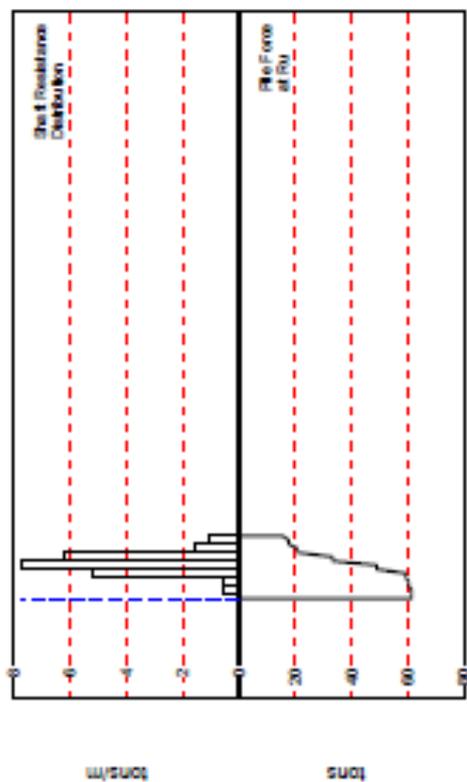
File: AE07-PILAR 06: 17X17: Blow 4

CAPWAP(R) 2006-2



$R_u =$
 $R_s =$
 $R_b =$
 $D_s =$
 $D_b =$

61.4 tons
 45.0 tons
 15.6 tons
 21.2 mm
 31.1 mm



ESTACA AEO7-PILAR 04

17X17; Blow: 4

CAPWAP (R) 2006-2

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 61.4; along Shaft 45.8; at Toe 15.6 tons

| Soil Spent No. | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru tons | Force in Pile tons | Sum of Ru tons | Unit Resist. (Depth) tons/m | Unit Resist. (Area) tons/m ² | Smith Damping Factor s/m |
|----------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | | | | 61.4 | | | | |
| 1 | 3.0 | 2.5 | 1.0 | 60.3 | 1.0 | 0.42 | 0.62 | 0.509 |
| 2 | 5.0 | 4.5 | 1.0 | 59.3 | 2.1 | 0.52 | 0.76 | 0.509 |
| 3 | 7.0 | 6.5 | 10.4 | 48.9 | 12.5 | 5.17 | 7.60 | 0.509 |
| 4 | 9.1 | 8.5 | 15.6 | 33.3 | 28.1 | 7.75 | 11.39 | 0.509 |
| 5 | 11.1 | 10.5 | 12.5 | 20.8 | 40.6 | 6.20 | 9.12 | 0.509 |
| 6 | 13.1 | 12.5 | 3.1 | 17.7 | 43.7 | 1.55 | 2.28 | 0.509 |
| 7 | 15.1 | 14.5 | 2.1 | 15.6 | 45.8 | 1.03 | 1.52 | 0.509 |
| Avg. Shaft | | | 6.5 | | | 3.15 | 4.63 | 0.509 |
| Toe | | | 15.6 | | | | 539.79 | 0.499 |

Soil Model Parameters/Extensions

| | | Shaft | Toe |
|----------------------------------------|----------------------|-------|--------|
| Quake | (mm) | 1.939 | 10.992 |
| Case Damping Factor | | 0.889 | 0.297 |
| Unloading Quake | (% of loading quake) | 76 | 115 |
| Reloading Level | (% of Ru) | 100 | 100 |
| Unloading Level | (% of Ru) | 38 | |
| Resistance Gap (included in Toe Quake) | (mm) | | 1.567 |
| Soil Plug Weight | (tons) | | 0.02 |

CAPWAP match quality = 1.50 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: final set = 10.000 mm; blow count = 100 b/m
 Computed: final set = 10.146 mm; blow count = 99 b/m
 max. Top Comp. Stress = 0.257 tons/cm² (T= 13.3 ms, max= 1.025 x Top)
 max. Comp. Stress = 0.263 tons/cm² (Z= 5.0 m, T= 17.1 ms)
 max. Tens. Stress = -0.006 tons/cm² (Z= 7.0 m, T= 42.2 ms)
 max. Energy (EMC) = 1.01 tonne-m; max. Measured Top Displ. (DMC)=17.45 mm

File: A807-PILAR 04
17X17; Blow: 4

CAPWAP (R) 2006-2

EXTREMA TABLE

| File Segment No. | Dist. Below Gages m | max. Force tons | min. Force tons | max. Comp. Stress tons/cm ² | max. Tens. Stress tons/cm ² | max. Transfd. Energy tonne-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |
|------------------|------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 1.0 | 74.2 | -0.6 | 0.257 | -0.002 | 1.01 | 2.0 | 16.808 |
| 2 | 2.0 | 75.1 | -1.0 | 0.260 | -0.004 | 1.00 | 2.0 | 16.286 |
| 3 | 3.0 | 75.8 | -1.5 | 0.262 | -0.005 | 0.98 | 1.9 | 15.764 |
| 4 | 4.0 | 75.4 | -1.4 | 0.261 | -0.005 | 0.94 | 1.8 | 15.251 |
| 5 | 5.0 | 76.0 | -1.7 | 0.263 | -0.006 | 0.93 | 1.7 | 14.733 |
| 6 | 6.0 | 74.8 | -1.5 | 0.259 | -0.005 | 0.90 | 1.6 | 14.219 |
| 7 | 7.0 | 75.2 | -1.8 | 0.260 | -0.006 | 0.88 | 1.5 | 13.699 |
| 8 | 8.1 | 61.1 | -0.0 | 0.211 | -0.000 | 0.69 | 1.3 | 13.271 |
| 9 | 9.1 | 61.4 | -0.0 | 0.212 | -0.000 | 0.68 | 1.2 | 12.833 |
| 10 | 10.1 | 41.2 | -0.0 | 0.143 | -0.000 | 0.43 | 1.1 | 12.525 |
| 11 | 11.1 | 41.9 | -0.0 | 0.145 | -0.000 | 0.43 | 1.1 | 12.212 |
| 12 | 12.1 | 27.4 | -0.0 | 0.095 | -0.000 | 0.24 | 1.2 | 12.008 |
| 13 | 13.1 | 26.3 | -0.0 | 0.091 | -0.000 | 0.24 | 1.3 | 11.801 |
| 14 | 14.1 | 21.7 | -0.0 | 0.075 | -0.000 | 0.19 | 1.3 | 11.621 |
| 15 | 15.1 | 21.6 | -0.0 | 0.075 | -0.000 | 0.16 | 1.4 | 11.437 |
| Absolute | 5.0 | | | 0.263 | | | (T = | 17.1 mm) |
| | 7.0 | | | | -0.006 | | (T = | 42.2 mm) |

CASE METHOD

| J = | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RP | 71.4 | 68.2 | 65.0 | 61.8 | 58.6 | 55.4 | 52.2 | 49.0 | 45.8 | 42.6 |
| RC | 76.9 | 74.2 | 71.5 | 68.9 | 66.8 | 64.8 | 62.7 | 60.6 | 58.5 | 56.4 |
| RD | 71.4 | 68.2 | 65.0 | 61.8 | 58.6 | 55.4 | 52.2 | 49.0 | 45.8 | 42.6 |

RA0 = 0.5 (tons); RA2 = 74.3 (tons)

Current CAPWAP Ra = 61.4 (tons); Corresponding J (RP) = 0.31; J (RC) = 0.66

| V0C | TVP | VT1*Z | FT1 | F0C | D0C | DPH | SET | EDC | Q0B |
|------|------|-------|------|------|--------|--------|--------|---------|------|
| m/s | ms | tons | tons | tons | ms | ms | ms | tonne-m | tons |
| 2.04 | 8.43 | 51.9 | 51.6 | 75.3 | 17.452 | 10.000 | 10.000 | 1.0 | 74.5 |

PILE PROFILE AND PILE MODEL

| Depth m | Area cm ² | E-Modulus tons/cm ² | Spec. Weight tons/m ³ | Perim. m |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 0.00 | 289.00 | 335.4 | 2.403 | 0.680 |
| 15.10 | 289.00 | 335.4 | 2.403 | 0.680 |

Toe Area 0.029 m²

Top Segment Length 1.01 m, Top Impedance 26.20 tons/m/s

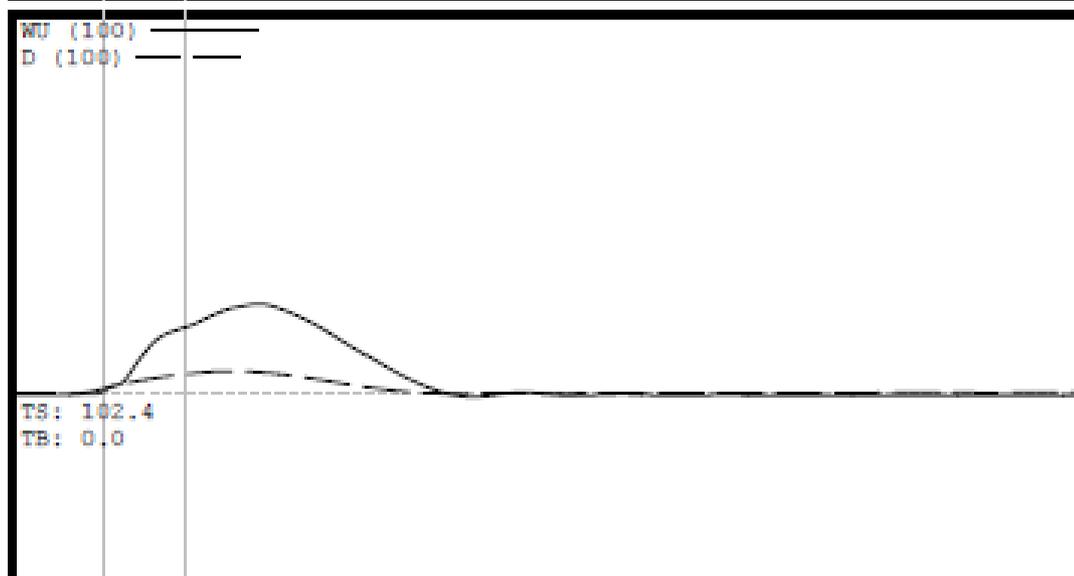
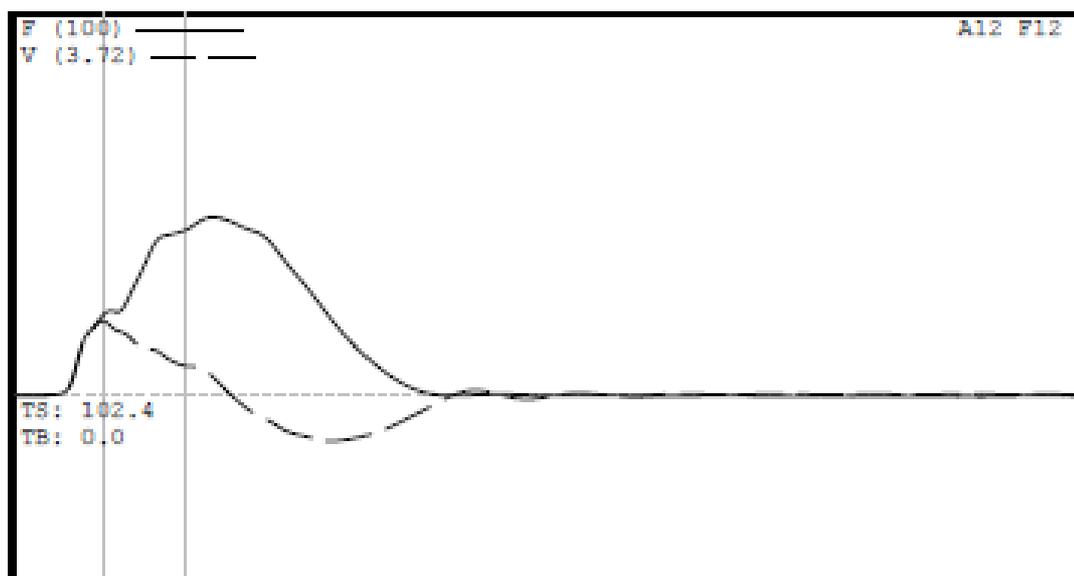
File Damping 2.0 %, Time Incr 0.272 ms, Wave Speed 3700.0 m/s, 2L/c 8.2 ms

7.3 ANEXO 2 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE - ESTACA P11E20

Os gráficos nas folhas a seguir apresentam as informações:

- Força (F) e Velocidade (V) medidas no nível dos sensores;
- Onda Ascendente (WU) e deslocamento (D) no nível dos sensores, ao longo do tempo.

P11E20 : U4

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

ESTACA : P11E20
DESCR: 17X17

ESTACA P11E20.W01

GOLPE 4

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3800.0 m/s
EA/C 26.9 tn-s/m
ZL/C 7.95 ms
JC 0.73 []
LP 14.3 m

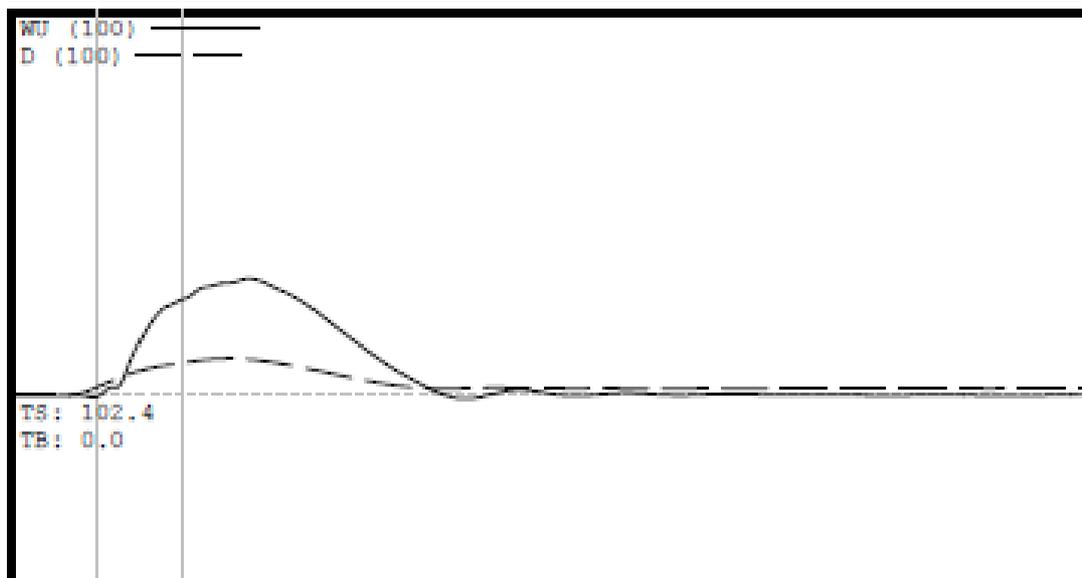
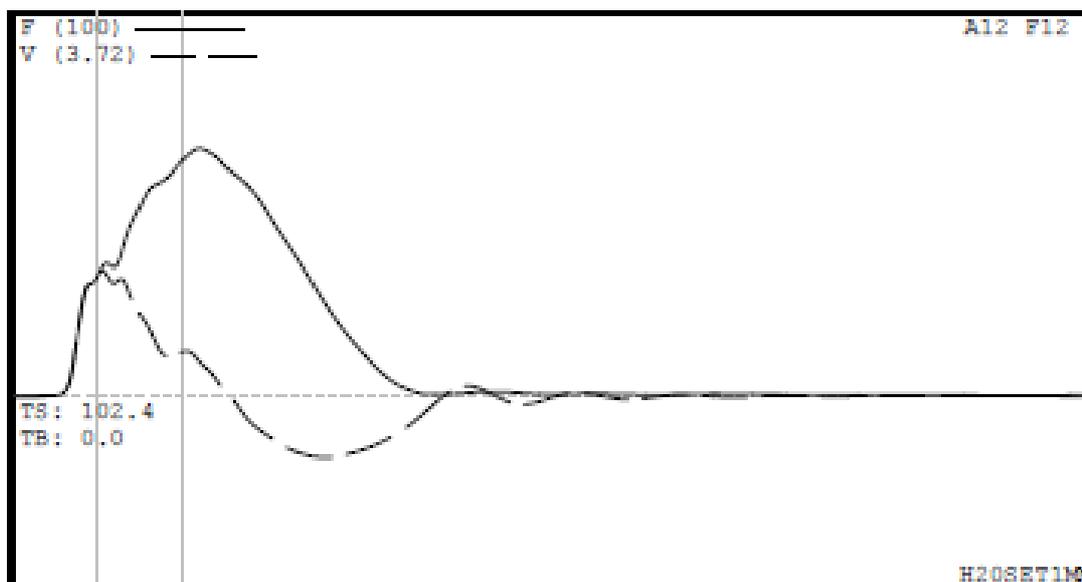
RESULTADOS

FMX 47 tn
CSI 21.9 MPa
FVP 1.1 []
CSX 15.8 MPa
TSX 0.9 MPa
EMX 0.18 tn-m
DMX 6 mm
DFN 1 mm
RMX 48 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: OK 1.29
V1/V2: OK 0.96

P11E20

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

PILE NAME: P11E20
DESCR: 17X17

FILE: P11E20.W01

GOLPE 6

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3800.0 m/s
EA/C 26.9 tn-s/m
2L/C 7.95 ms
JC 0.73 f1
LP 14.3 m

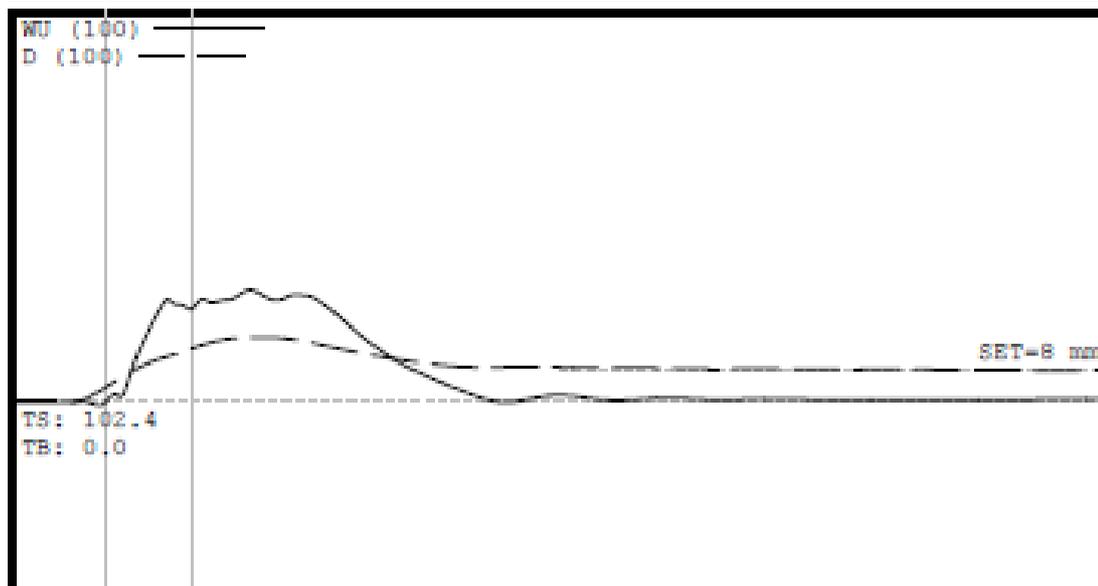
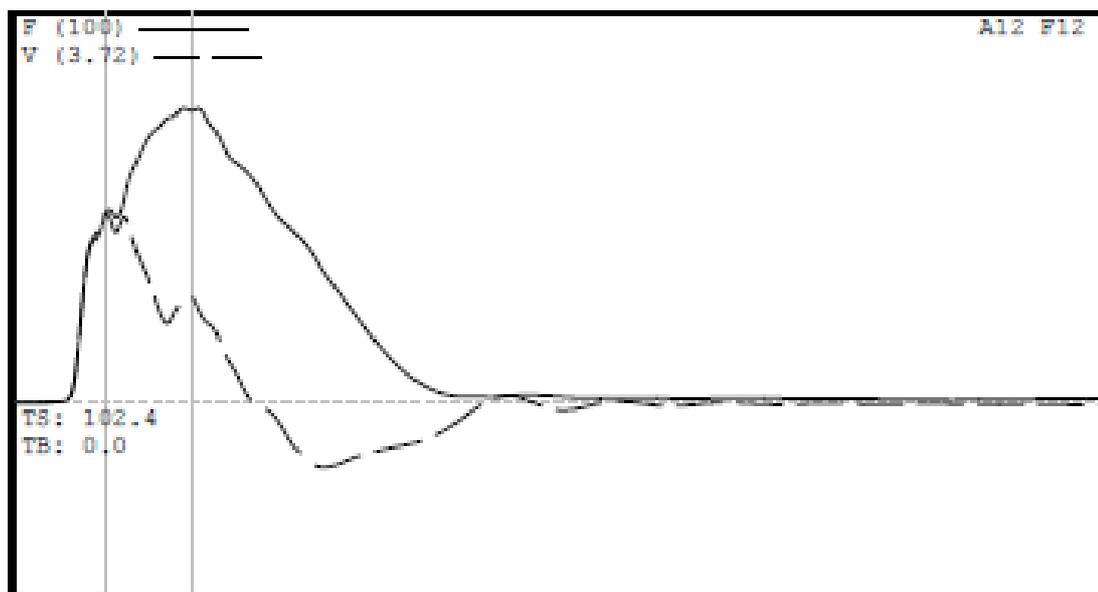
RESULTADOS

FMX 64 tn
CSI 22.4 MPa
FVP 1.0 f1
CSX 21.9 MPa
TSX 1.5 MPa
EMX 0.40 tn-m
DMX 10 mm
DFN 2 mm
RMX 62 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: OK 0.92
V1/V2: OK 0.89

P11E20

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

FILE NAME: P11E20
DESCR: 17X17

ESTACA P11E20.W01

GOLPE 10

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3800.0 m/s
EA/C 26.9 tn-s/m
2L/C 7.95 ms
JC 0.73 f1
LP 14.3 m

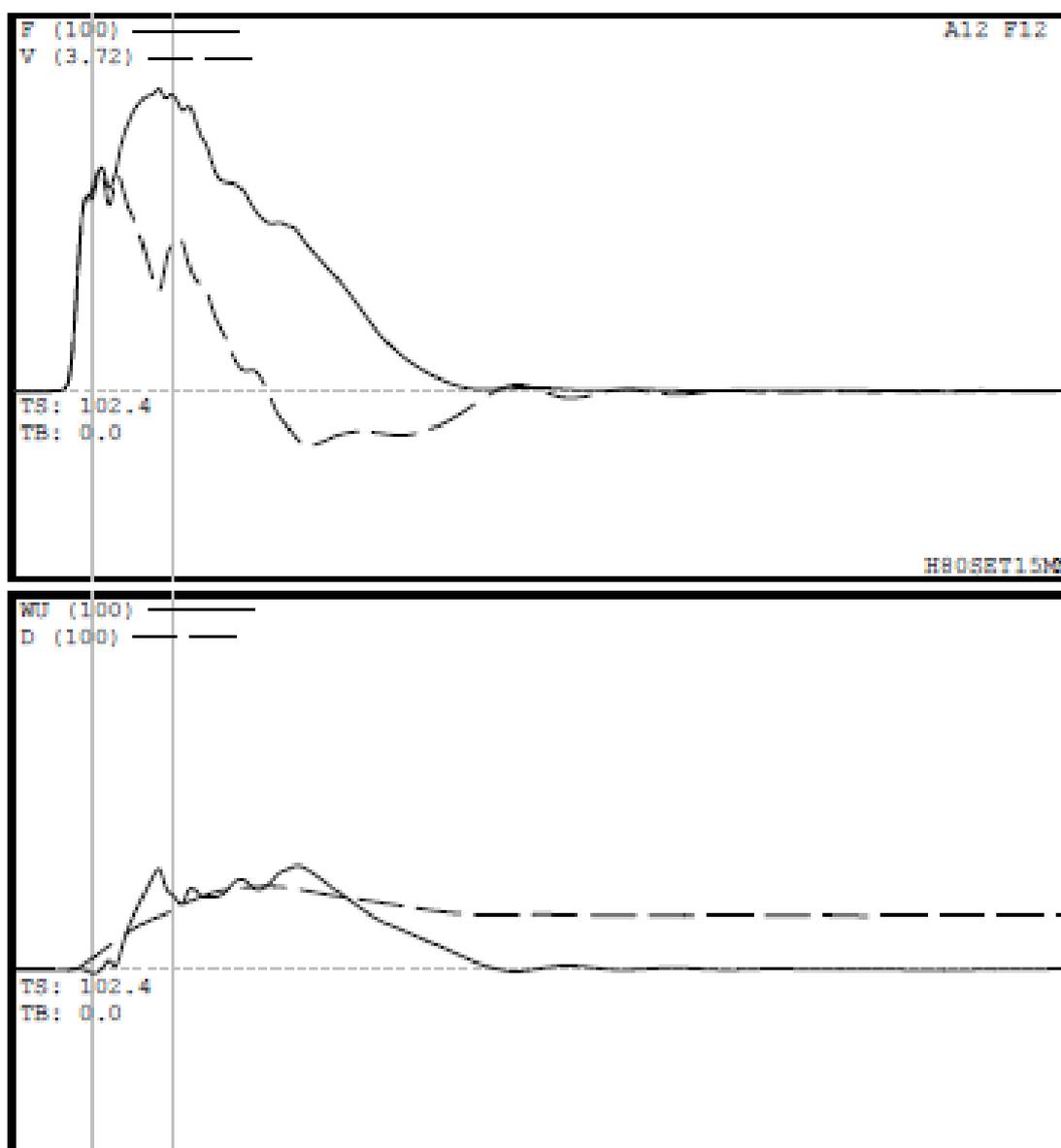
RESULTADOS

FMX 75 tn
CSI 29.6 MPa
FVP 1.0 []
CSX 25.5 MPa
TSX 1.0 MPa
EMX 0.96 tn-m
DMX 17 mm
DFN 8 mm
RMX 62 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g/s/v (1)
A2: [32709] 1080 g/s/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: LOW 0.74
V1/V2: OK 0.90

P11E20

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

PILE NAME: P11E20
DESCR: 17X17

ESTACA 11E20.W01

GOLPE 12

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3900.0 m/s
EA/C 26.9 tn-s/m
ZL/C 7.95 ms
JC 0.73 f1
LP 14.3 m

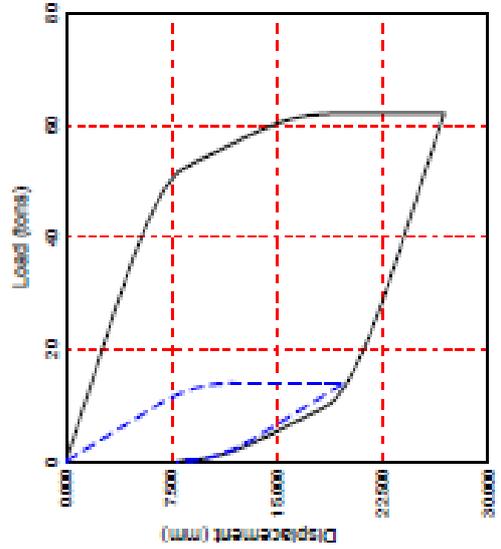
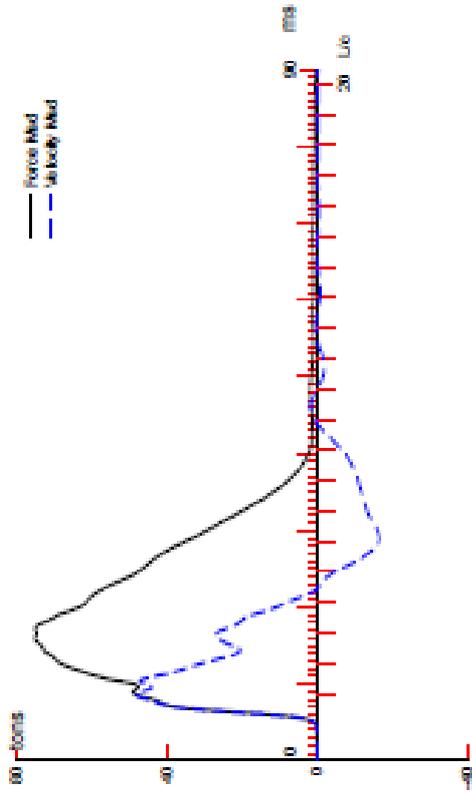
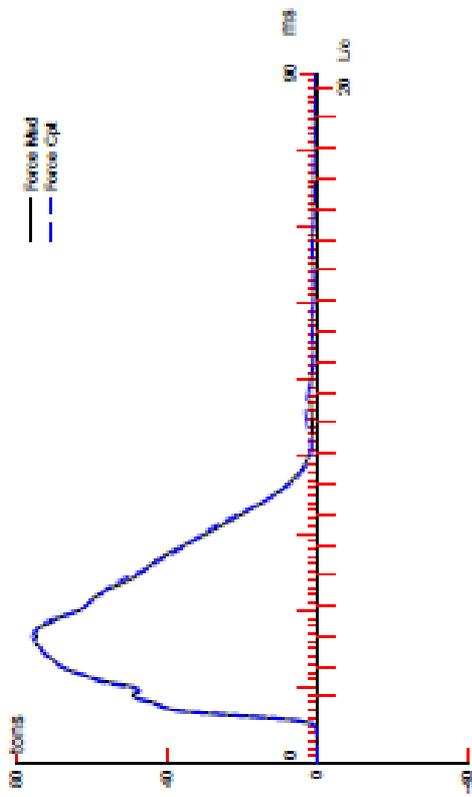
RESULTADOS

FMX 80 tn
CSI 29.7 MPa
FVP 1.0 f1
CSX 27.3 MPa
TSX 1.1 MPa
EMX 1.42 tn-m
DMX 22 mm
DFN 14 mm
RMX 59 tn

SENSORES

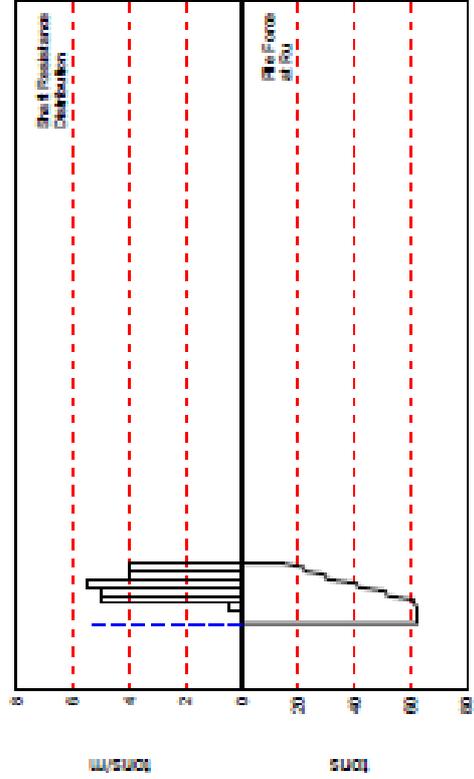
F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g/s/v (1)
A2: [32709] 1080 g/s/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: LOW 0.70
V1/V2: OK 0.88

7.4 RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP - ESTACA P11E20



File Top
Bottom

$P_{10} =$ 62.1 tons
 $P_{20} =$ 48.1 tons
 $P_{30} =$ 14.0 tons
 $D_{10} =$ 18.9 mm
 $D_{20} =$ 20.0 mm



File: P11E20
17X17; Blow: 10

CAPWAP(R) 2006-2

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 62.1; along Shaft 48.1; at Toe 14.0 tons

| Soil Sgmt No. | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru tons | Force in File tons | Sum of Ru tons | Unit Resist. (Depth) tons/m | Unit Resist. (Area) tons/m ² | Smith Damping Factor s/m |
|---------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
| | | | | 62.1 | | | | |
| 1 | 3.0 | 2.2 | 0.0 | 62.1 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 2 | 5.0 | 4.2 | 1.0 | 61.1 | 1.0 | 0.50 | 0.73 | 0.646 |
| 3 | 7.0 | 6.2 | 10.0 | 51.1 | 11.0 | 4.99 | 7.34 | 0.646 |
| 4 | 9.0 | 8.2 | 10.0 | 41.1 | 21.1 | 4.99 | 7.34 | 0.646 |
| 5 | 11.1 | 10.2 | 11.0 | 30.0 | 32.1 | 5.49 | 8.07 | 0.646 |
| 6 | 13.1 | 12.3 | 8.0 | 22.0 | 40.1 | 3.99 | 5.87 | 0.646 |
| 7 | 15.1 | 14.3 | 8.0 | 14.0 | 48.1 | 3.99 | 5.87 | 0.646 |
| Avg. Shaft | | | 6.9 | | | 3.37 | 4.96 | 0.646 |
| Toe | | | 14.0 | | | | 484.43 | 0.488 |

Soil Model Parameters/Extensions

| | Shaft | Toe |
|---------------------------------------------|-------|-------|
| Quake (mm) | 2.219 | 9.066 |
| Case Damping Factor | 1.156 | 0.254 |
| Unloading Quake (% of loading quake) | 73 | 97 |
| Reloading Level (% of Ru) | 100 | 100 |
| Unloading Level (% of Ru) | 11 | |
| Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm) | | 4.563 |
| Soil Plug Weight (tons) | | 0.13 |

CAPWAP match quality = 1.47 (Wave Up Match) ; RSA = 0
 Observed: final set = 8.000 mm; blow count = 125 b/m
 Computed: final set = 7.772 mm; blow count = 129 b/m
 max. Top Comp. Stress = 0.264 tons/cm² (T= 16.9 ms, max= 1.023 x Top)
 max. Comp. Stress = 0.270 tons/cm² (E= 4.0 m, T= 17.7 ms)
 max. Tens. Stress = -0.001 tons/cm² (E= 7.0 m, T= 42.3 ms)
 max. Energy (EMX) = 0.94 tonne-m; max. Measured Top Displ. (DMX)=16.59 mm

File: P11E20
17X17; Blow: 10

CAPWAP (R) 2006-2

| EXTREMA TABLE | | | | | | | | |
|---------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| File Sgmt No. | Dist. Below Gages m | max. Force tons | min. Force tons | max. Comp. Stress tons/cm ² | max. Tens. Stress tons/cm ² | max. Trnsfd. Energy tonne-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |
| 1 | 1.0 | 76.3 | 0.0 | 0.264 | 0.000 | 0.94 | 1.8 | 15.929 |
| 2 | 2.0 | 77.1 | 0.0 | 0.267 | 0.000 | 0.92 | 1.7 | 15.353 |
| 3 | 3.0 | 77.8 | 0.0 | 0.269 | 0.000 | 0.91 | 1.6 | 14.784 |
| 4 | 4.0 | 78.0 | 0.0 | 0.270 | 0.000 | 0.89 | 1.5 | 14.233 |
| 5 | 5.0 | 77.7 | -0.0 | 0.269 | -0.000 | 0.88 | 1.4 | 13.694 |
| 6 | 6.0 | 75.6 | -0.1 | 0.262 | -0.000 | 0.84 | 1.3 | 13.170 |
| 7 | 7.0 | 75.8 | -0.4 | 0.262 | -0.001 | 0.83 | 1.2 | 12.646 |
| 8 | 8.0 | 61.7 | 0.0 | 0.214 | 0.000 | 0.65 | 1.1 | 12.215 |
| 9 | 9.0 | 62.6 | 0.0 | 0.217 | 0.000 | 0.64 | 1.0 | 11.787 |
| 10 | 10.1 | 49.9 | 0.0 | 0.173 | 0.000 | 0.48 | 1.0 | 11.442 |
| 11 | 11.1 | 50.8 | 0.0 | 0.176 | 0.000 | 0.47 | 0.9 | 11.092 |
| 12 | 12.1 | 36.8 | 0.0 | 0.127 | 0.000 | 0.32 | 0.9 | 10.831 |
| 13 | 13.1 | 37.1 | 0.0 | 0.129 | 0.000 | 0.31 | 0.9 | 10.567 |
| 14 | 14.1 | 26.4 | 0.0 | 0.092 | 0.000 | 0.21 | 1.0 | 10.369 |
| 15 | 15.1 | 26.7 | 0.0 | 0.092 | 0.000 | 0.10 | 1.0 | 10.165 |
| Absolute | 4.0 | | | 0.270 | | | (T = | 17.7 ms) |
| | 7.0 | | | | -0.001 | | (T = | 42.3 ms) |

CASE METHOD

| J = | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RP | 72.2 | 69.7 | 67.3 | 64.8 | 62.4 | 59.9 | 57.4 | 55.0 | 52.5 | 50.0 |
| RX | 77.2 | 74.7 | 72.3 | 69.9 | 67.9 | 66.2 | 64.4 | 62.6 | 60.8 | 59.1 |
| RU | 72.2 | 69.7 | 67.3 | 64.8 | 62.4 | 59.9 | 57.4 | 55.0 | 52.5 | 50.0 |

RAU = 18.6 (tons); RA2 = 76.2 (tons)

Current CAPWAP Ru = 62.1 (tons); Corresponding J(RP) = 0.41; J(RX) = 0.73

| VMX | TVP | VT1+2 | FT1 | FMX | DMX | DFN | SET | EMX | QUS |
|------|------|-------|------|------|--------|-------|-------|---------|------|
| m/s | ms | tons | tons | tons | mm | mm | mm | tonne-m | tons |
| 1.80 | 9.00 | 48.4 | 48.5 | 75.3 | 16.586 | 7.999 | 8.000 | 1.0 | 77.7 |

PILE PROFILE AND PILE MODEL

| Depth m | Area cm ² | E-Modulus tons/cm ² | Spec. Weight tons/m ³ | Perim. m |
|---------|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| 0.00 | 289.00 | 353.8 | 2.403 | 0.680 |
| 15.08 | 289.00 | 353.8 | 2.403 | 0.680 |

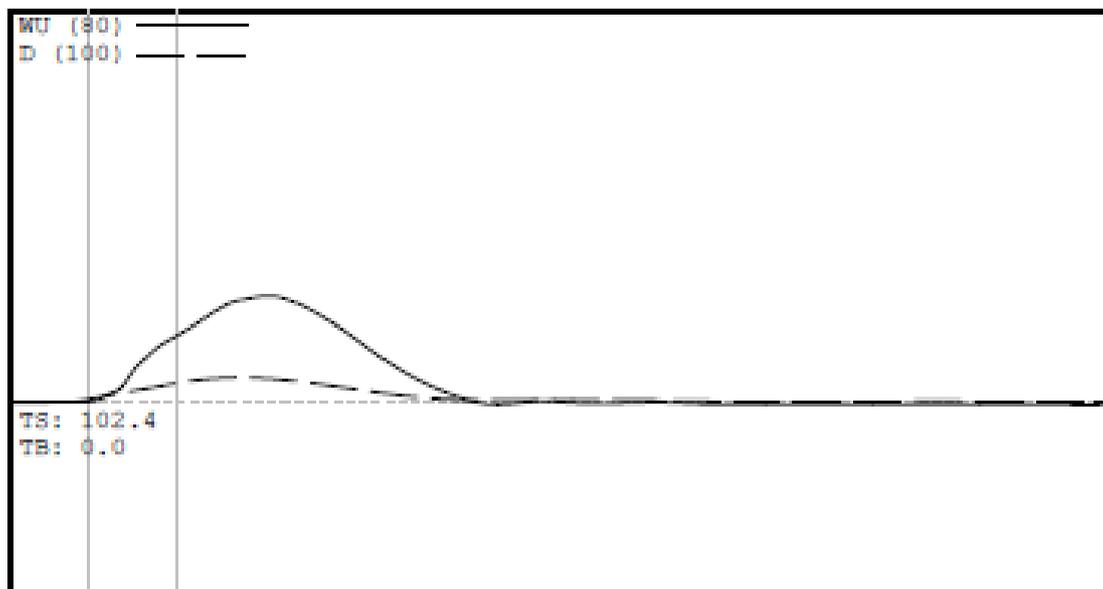
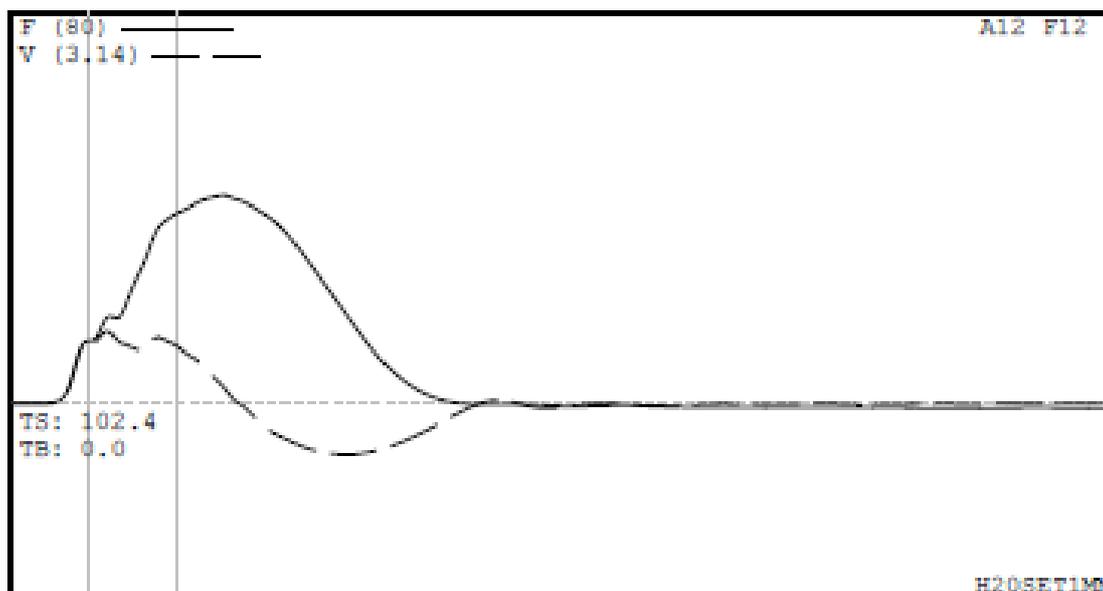
Toe Area 0.029 m²

Top Segment Length 1.01 m, Top Impedance 26.91 tons/m/s

File Damping 2.0 %, Time Incr 0.265 ms, Wave Speed 3800.0 m/s, 2L/c 7.9 ms

7.5 ANEXO 3 - RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE-ESTACA P18E31
– 1ª FASE

P18E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

PILE NAME: P18E31
DESCR: 17X17

ESTACA P18E31.W01

golPE 2

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s
EA/C 25.5 tn-s/m
2L/C 8.39 ms
JC 0.67 []
LP 14.5 m

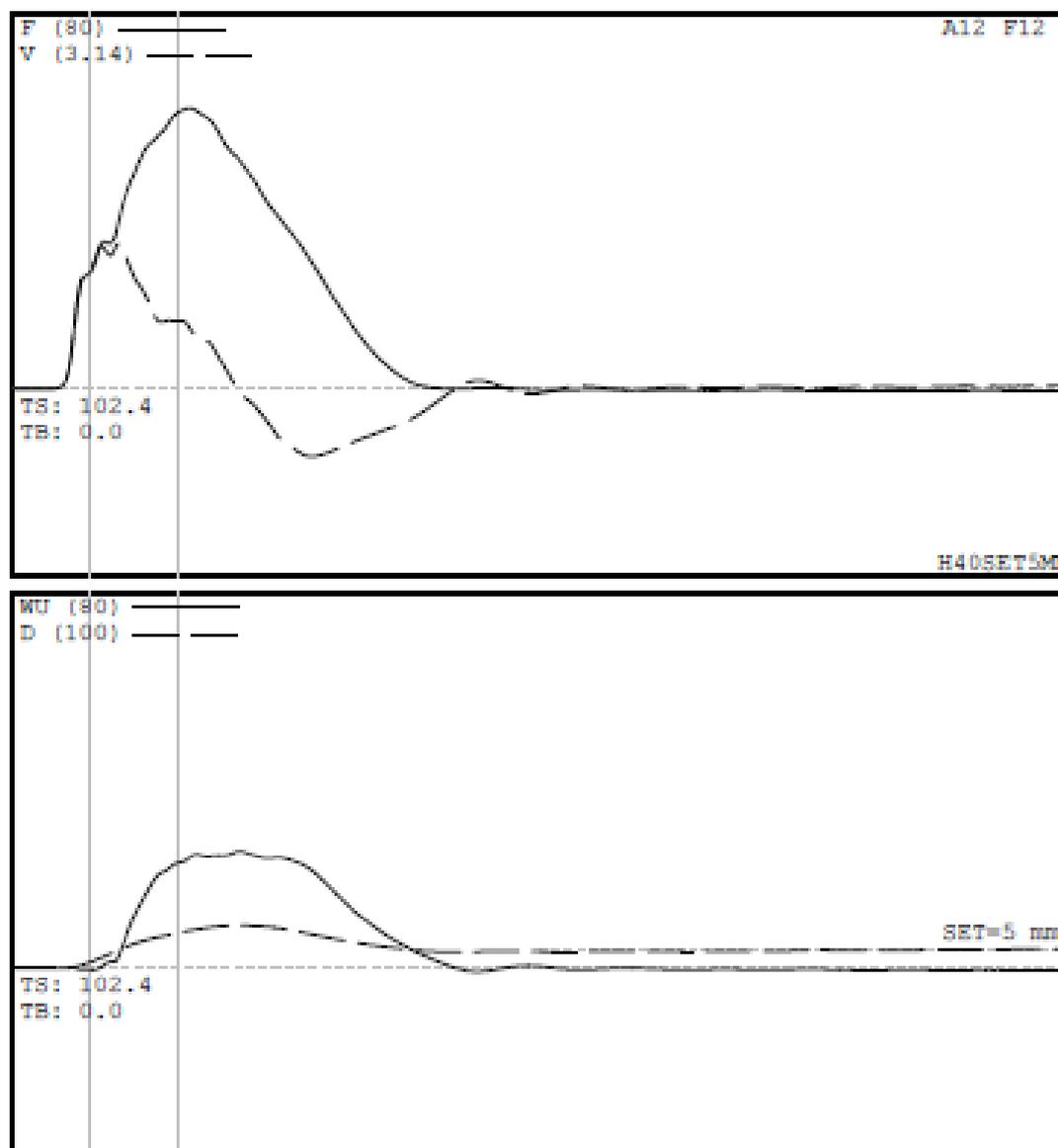
RESULTADOS

FMX 43 tn
CSI 22.9 MPa
FVP 1.0 []
CSX 14.4 MPa
TSX 0.7 MPa
EMX 0.17 tn-m
DMX 6 mm
DFN 0 mm
RMX 45 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: LOW -3.89
V1/V2: OK 0.81

P18E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

ESTACA : P18E31
 DESCRIÇÃO : 17X17

ESTACA P18E31.W01

GOLPE r 3

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
 AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s
 EA/C 25.5 tn-s/m
 2L/C 8.39 ms
 JC 0.67 []
 LP 14.5 m

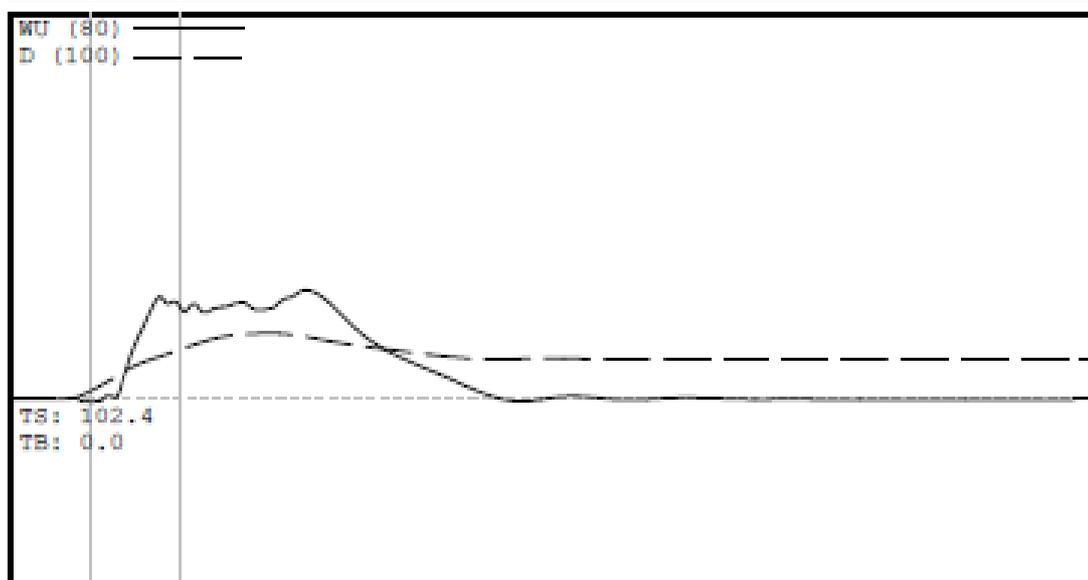
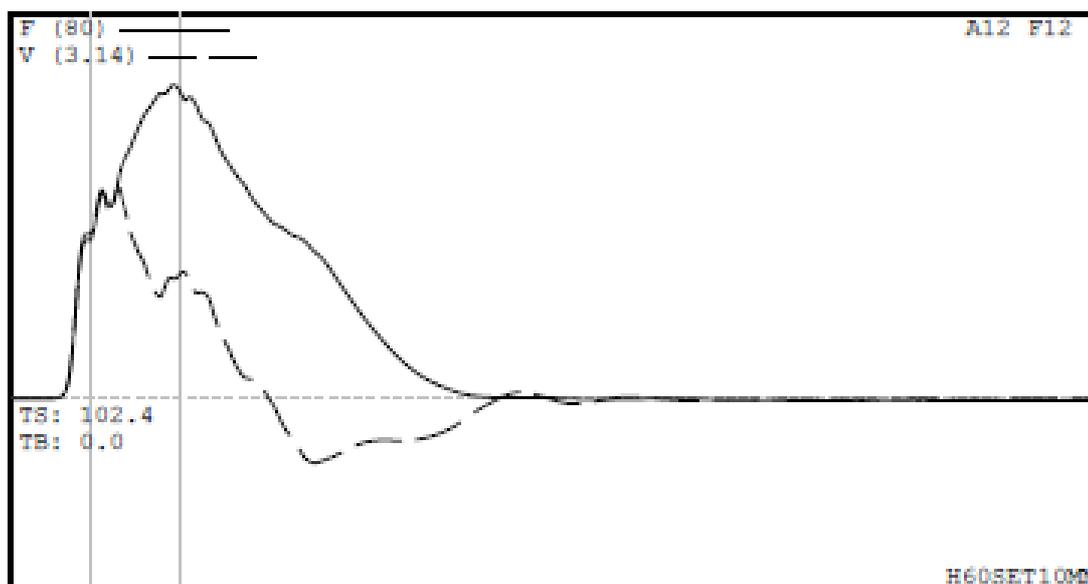
RESULTADOS

FMX 60 tn
 CSI 24.0 MPa
 FVP 1.0 []
 CSX 20.3 MPa
 TSX 1.1 MPa
 EMX 0.46 tn-m
 DMX 11 mm
 DFN 5 mm
 RMX 53 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
 F2: [E689] 94 (1)
 A1: [32708] 1090 g's/v (1)
 A2: [32709] 1080 g's/v (1)
 CLIP: OK
 F1/F2: LOW -25.85
 V1/V2: OK 0.90

P18E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

ESTACA E: P18E31

DESCR: 17X17

ESTACA : P18E31.W01

GOLPE 4

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m

AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s

EA/C 25.5 tn-s/m

2L/C 8.39 ms

JC 0.67 []

LP 14.5 m

RESULTADOS

FMX 65 tn

CSI 26.6 MPa

FVP 1.0 []

CSX 22.1 MPa

TSX 1.0 MPa

EMX 0.83 tn-m

DMX 17 mm

DFN 10 mm

RMX 49 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)

F2: [E689] 94 (1)

A1: [32708] 1090 g's/v (1)

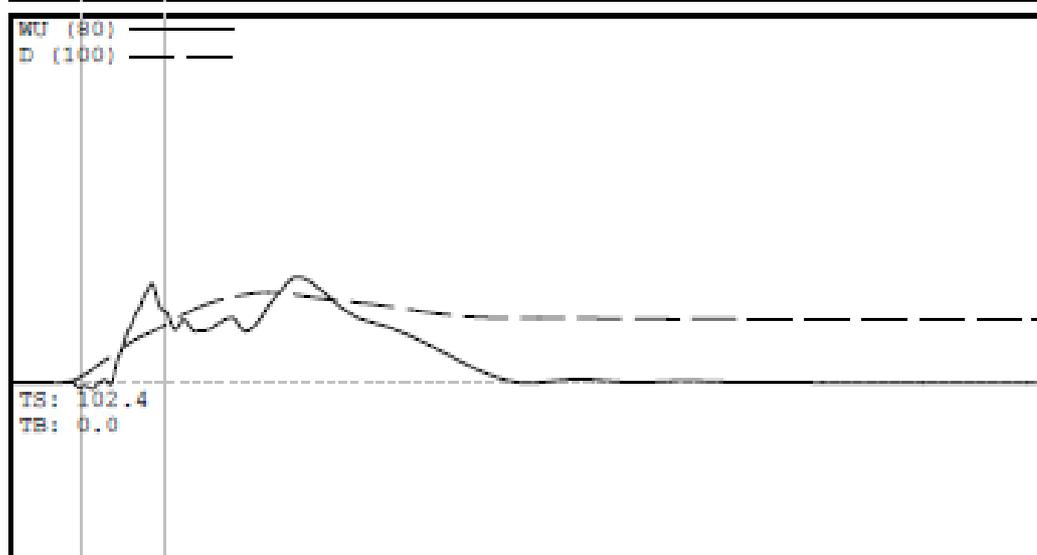
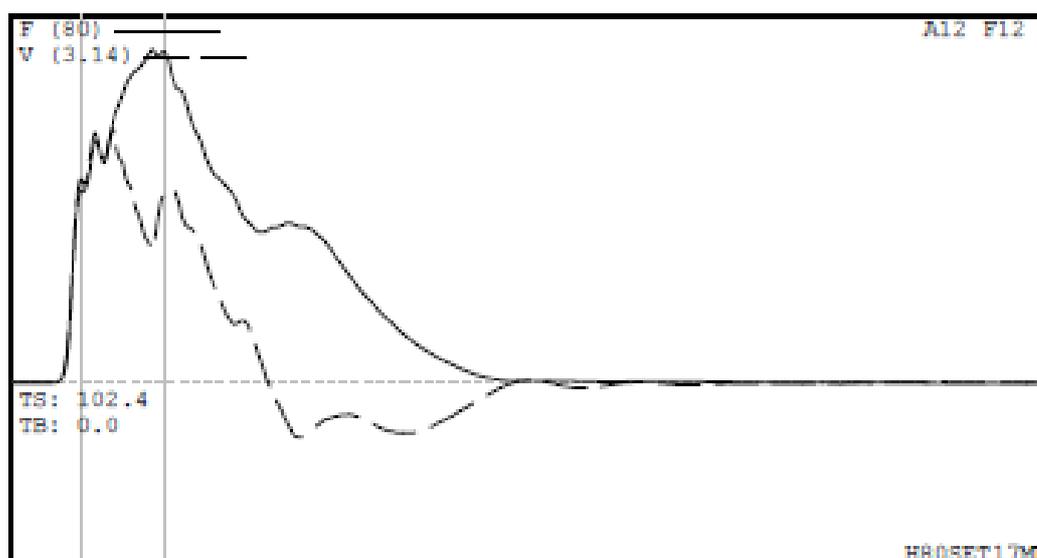
A2: [32709] 1080 g's/v (1)

CLIP: OK

F1/F2: LOW -21.59

V1/V2: OK 0.86

P18E31

Project Information

ESTACA ME: P18E31
DESCR: 17X17

TACA P18E31.W01

GOLPE 5

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s
EA/C 25.5 tn-s/m
2L/C 8.39 ms
JC 0.67 []
LP 14.5 m

RESULTADOS

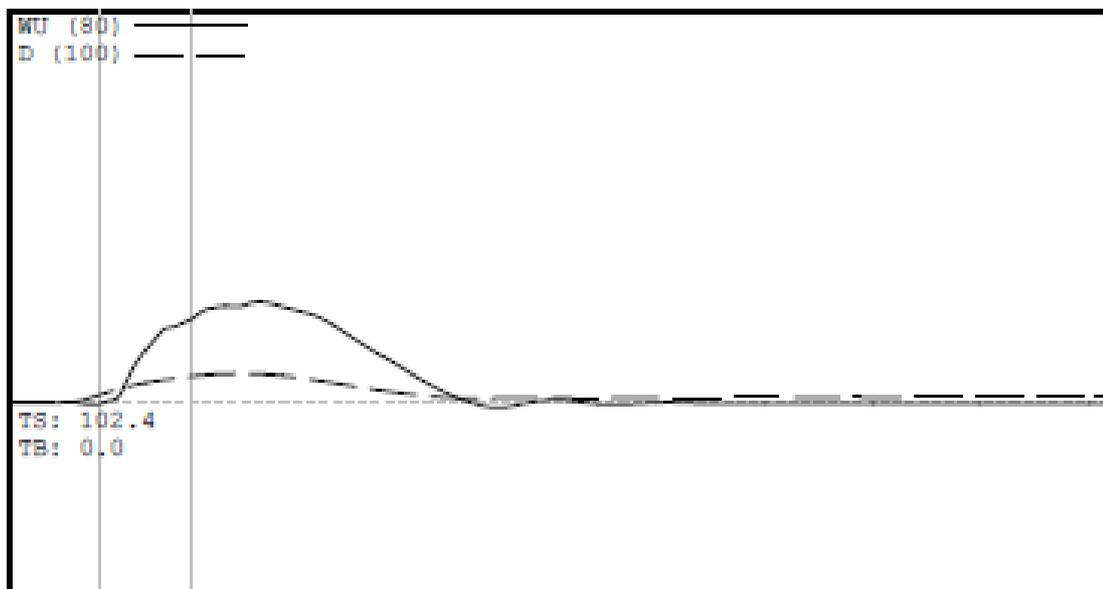
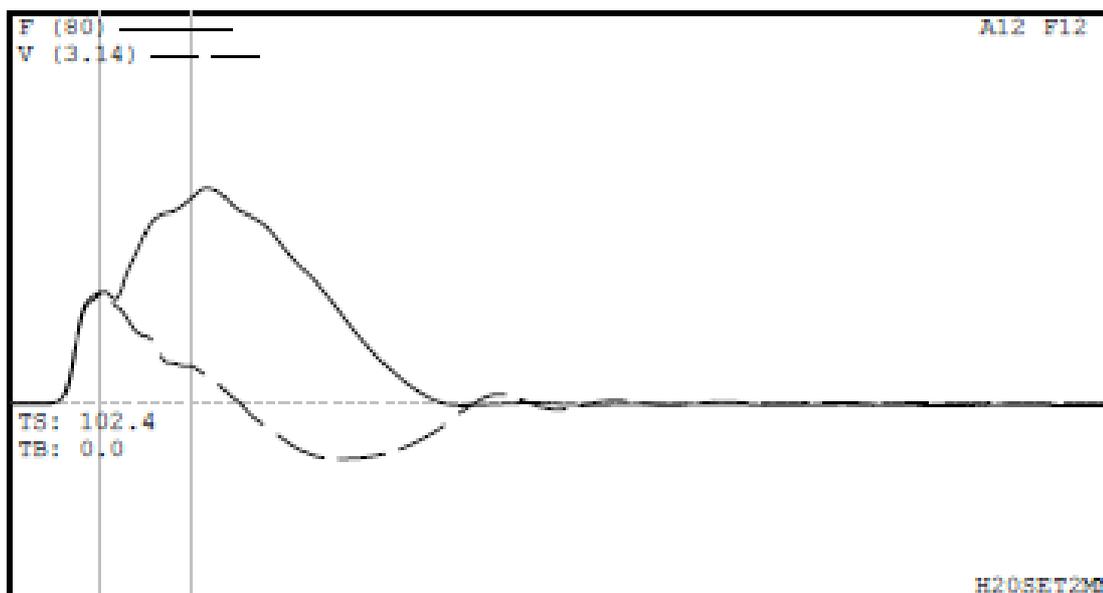
FMX 72 tn
CSI 30.3 MPa
FVP 0.9 []
CSX 24.6 MPa
TSX 0.6 MPa
EMX 1.36 tn-m
DMX 24 mm
DFN 17 mm
RMX 50 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: HIGH 3.45
V1/V2: OK 1.00

7.6 ANEXO 04 – RESULTADOS DE CAMPO – MÉTODO CASE - ESTACA
P18E31 – 2ª FASE

F10E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

ESTACA 4E: P18E31

DESCR: 17X17

FILE: P18E31.W01

GOLPE 2/55

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²
EM 318 t/cm²
SP 2.40 t/m³
WS 3600.0 m/s
EA/C 25.5 tn-s/m
2L/C 8.39 ms
JC 0.67 []
LP 14.9 m

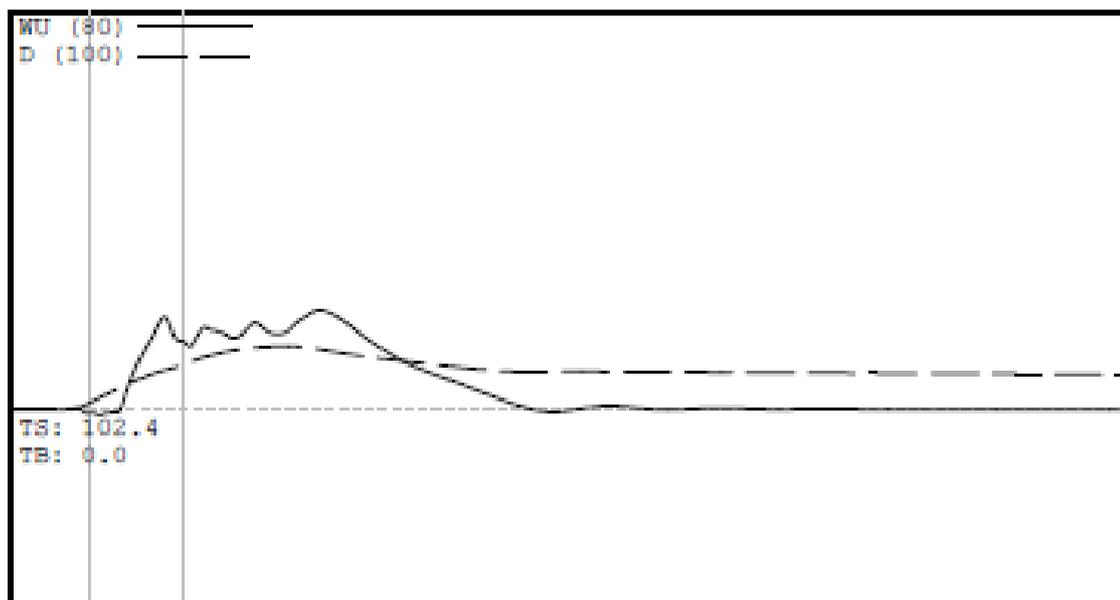
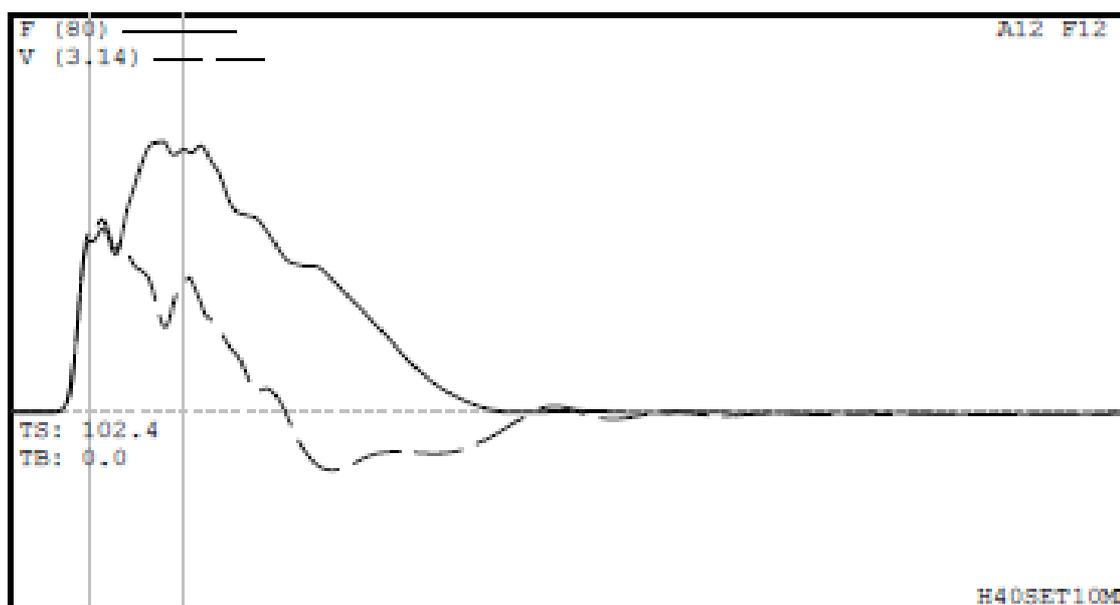
RESULTADOS

FMX 44 tn
CSI 21.5 MPa
FVP 1.0 []
CSX 14.9 MPa
TSX 1.2 MPa
EMX 0.21 tn-m
DMX 7 mm
DFN 1 mm
RMX 42 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: OK 1.24
V1/V2: OK 1.12

P18E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO****ESTACA**

: P18E31

DESCR: 17X17

FILE: P18E31.W01

GOLPE 3/56**PROPRIEDADES DA ESTACA**

LE 15.1 m

AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s

EA/C 25.5 tn-s/m

ZL/C 8.39 ms

JC 0.67 []

LP 14.9 m

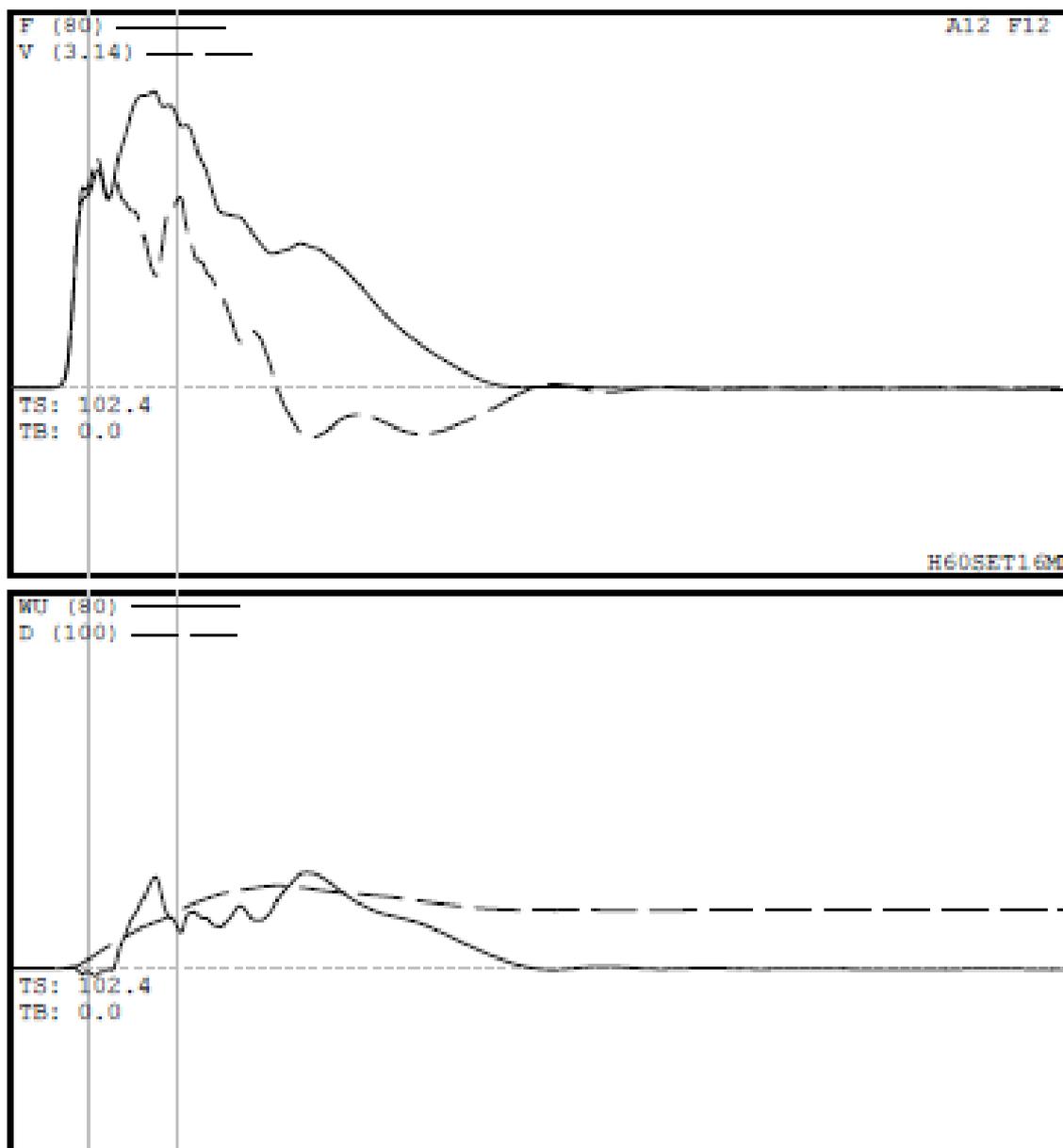
RESULTADOS

FMX 54 tn
 CSI 27.1 MPa
 FVP 1.0 []
 CSX 18.4 MPa
 TSX 1.0 MPa
 EMX 0.67 tn-m
 DMX 16 mm
 DFN 9 mm
 RMX 43 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)
 F2: [E689] 94 (1)
 A1: [32708] 1090 g/s/v (1)
 A2: [32709] 1080 g/s/v (1)
 CLIP: OK
 F1/F2: HIGH 1.62
 V1/V2: OK 1.01

P18E31

**DEFINIÇÃO DO PROJETO****ESTACA**

E: P18E31

DESCR: 17X17

FILE: P18E31.W01

GOLPE

4/57

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m

AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s

EA/C 25.5 tn-s/m

2L/C 8.39 ms

JC 0.67 []

LP 14.9 m

RESULTADOS

FMX 63 tn

CSI 31.8 MPa

FVP 1.0 []

CSX 21.3 MPa

TSX 0.8 MPa

EMX 1.05 tn-m

DMX 22 mm

DFN 15 mm

RMX 44 tn

SENSORES

F1: [E661] 94.2 (1)

F2: [E689] 94 (1)

A1: [32708] 1090 g's/v (1)

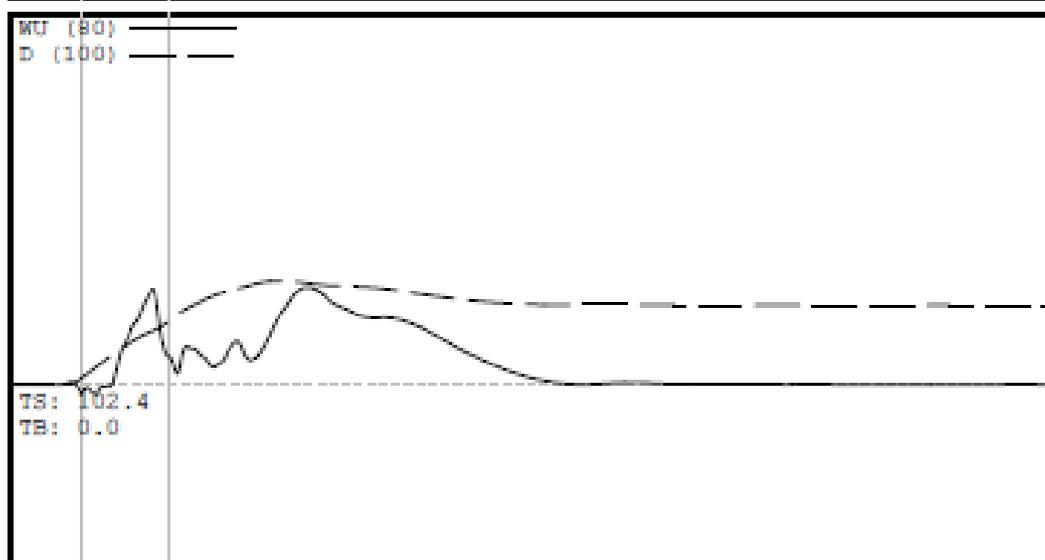
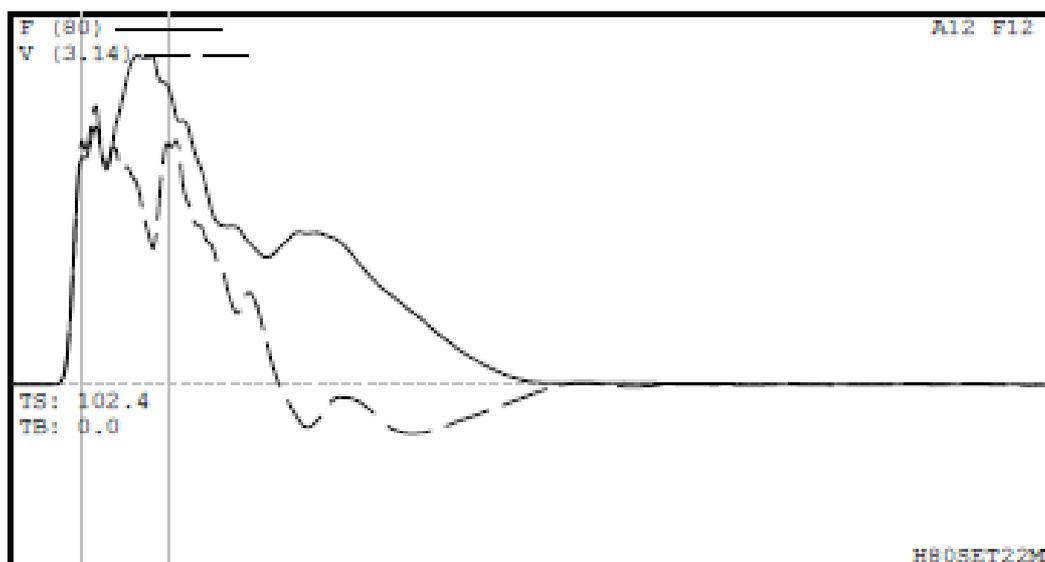
A2: [32709] 1080 g's/v (1)

CLIP: OK

F1/F2: OK 1.22

V1/V2: OK 1.02

P18E31

**DESCRIÇÃO DO PROJETO**

PILE NAME: P18E31
DESCR: 17X17

FILE: P18E31.W01

GOLPE 5/58

PROPRIEDADES DA ESTACA

LE 15.1 m
AR 289.00 cm²

WS 3600.0 m/s
EA/C 25.5 tn-s/m
2L/C 8.39 ms
JC 0.67 []
LP 14.9 m

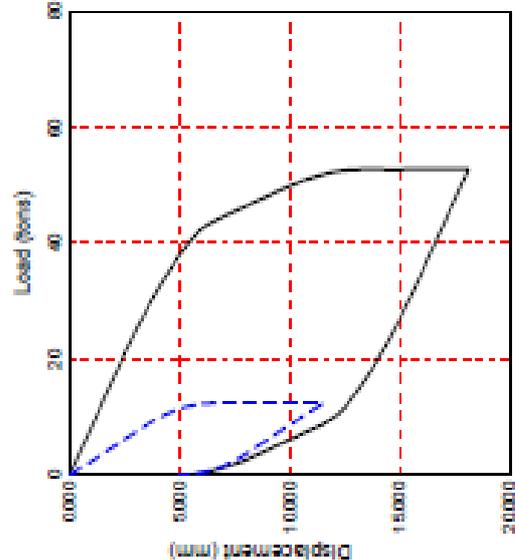
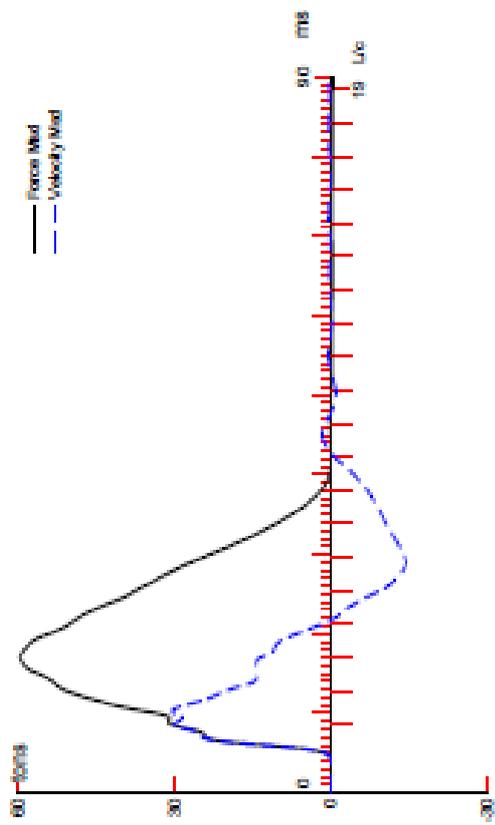
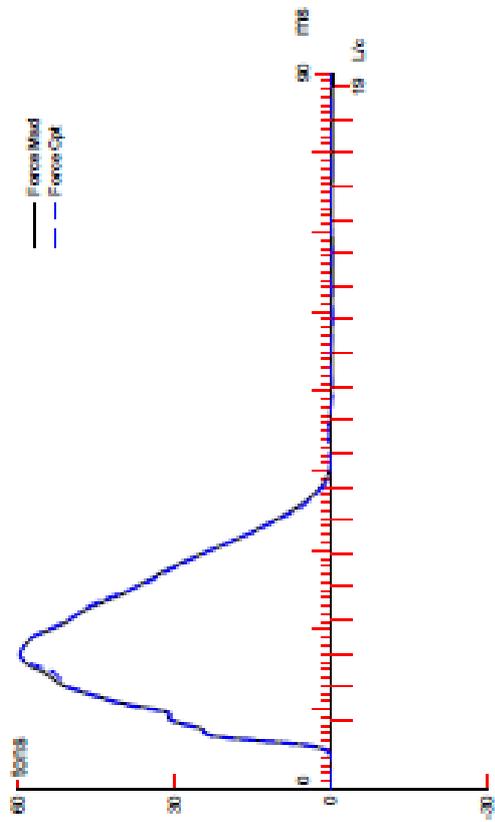
RESULTADOS

FMX 71 tn
CSI 34.9 MPa
FVP 0.9 []
CSX 24.0 MPa
TSX 0.4 MPa
EMX 1.46 tn-m
DMX 28 mm
DFN 21 mm
RMX 45 tn

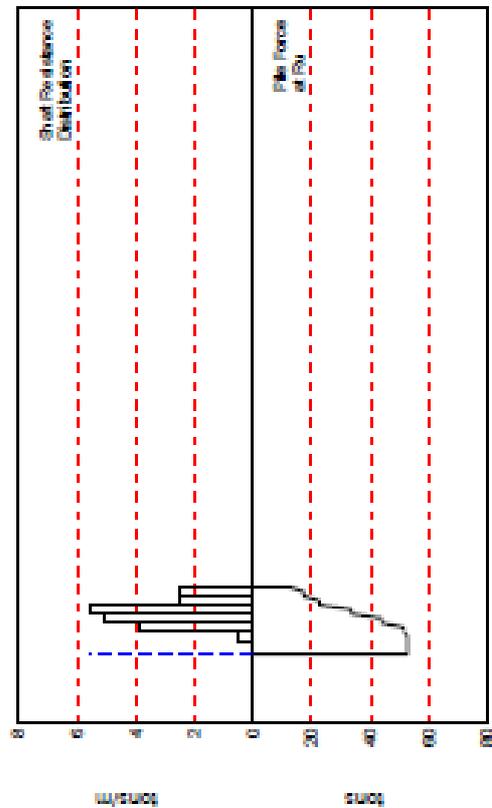
Sensors

F1: [E661] 94.2 (1)
F2: [E689] 94 (1)
A1: [32708] 1090 g's/v (1)
A2: [32709] 1080 g's/v (1)
CLIP: OK
F1/F2: OK 1.14
V1/V2: OK 1.09

7.7 RESULTADOS DA ANÁLISE CAPWAP - ESTACA P18E31



$R_u =$ 62.8 tons
 $R_b =$ 40.3 tons
 $R_c =$ 12.4 tons
 $D_v =$ 13.1 mm
 $D_c =$ 18.1 mm



File: P18E31

17X17; Blow: 3

CAPWAP (R) 2006-2

CAPWAP SUMMARY RESULTS

| Total CAPWAP Capacity: 52.8; along Shaft 40.3; at Toe 12.4 tons | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| Soil Sgmnt No. | Dist. Below Gages m | Depth Below Grade m | Ru tons | Force in Pile tons | Sum of Ru tons | Unit Resist. (Depth) tons/m | Unit Resist. (Area) tons/m ² | Smith Damping Factor s/m |
| | | | | 52.8 | | | | |
| 1 | 3.0 | 2.4 | 0.0 | 52.8 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 2 | 5.0 | 4.4 | 1.0 | 51.7 | 1.0 | 0.51 | 0.75 | 0.961 |
| 3 | 7.0 | 6.4 | 7.7 | 44.0 | 8.7 | 3.83 | 5.64 | 0.961 |
| 4 | 9.1 | 8.5 | 10.2 | 33.8 | 18.9 | 5.07 | 7.45 | 0.961 |
| 5 | 11.1 | 10.5 | 11.2 | 22.6 | 30.2 | 5.57 | 8.20 | 0.961 |
| 6 | 13.1 | 12.5 | 5.1 | 17.5 | 35.2 | 2.52 | 3.71 | 0.961 |
| 7 | 15.1 | 14.5 | 5.1 | 12.4 | 40.3 | 2.52 | 3.71 | 0.961 |
| Avg. Shaft | | | 5.8 | | | 2.78 | 4.09 | 0.961 |
| Toe | | | 12.4 | | | | 430.45 | 0.524 |

| Soil Model Parameters/Extensions | | Shaft | Toe |
|----------------------------------|-----------|-------|-------|
| Quake | (mm) | 1.129 | 5.009 |
| Case Damping Factor | | 1.520 | 0.256 |
| Reloading Level | (% of Ru) | 100 | 100 |
| Unloading Level | (% of Ru) | 36 | |

| | | | |
|-----------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------------|
| CAPWAP match quality | = | 1.33 | (Wave Up Match) ; RSA = 0 |
| Observed: final set | = | 5.000 mm; | blow count = 200 b/m |
| Computed: final set | = | 4.314 mm; | blow count = 232 b/m |
| max. Top Comp. Stress | = | 0.209 tons/cm ² | (T= 17.3 ms, max= 1.008 x Top) |
| max. Comp. Stress | = | 0.210 tons/cm ² | (S= 3.0 m, T= 17.6 ms) |
| max. Tens. Stress | = | -0.006 tons/cm ² | (S= 7.0 m, T= 41.7 ms) |
| max. Energy (EMX) | = | 0.45 tonne-m; | max. Measured Top Displ. (DMX)=11.12 mm |

File: F18E31

17X17; Blow: 3

CAPWAP (R) 2006-2

EXTREMA TABLE

| File Segment No. | Dist. Below Gages m | max. Force tons | min. Force tons | max. Comp. Stress tons/cm ² | max. Tens. Stress tons/cm ² | max. Transfd. Energy tonne-m | max. Veloc. m/s | max. Displ. mm |
|------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 1.0 | 60.3 | -0.3 | 0.209 | -0.001 | 0.45 | 1.2 | 10.643 |
| 2 | 2.0 | 60.8 | -0.5 | 0.210 | -0.002 | 0.43 | 1.1 | 10.084 |
| 3 | 3.0 | 60.8 | -0.9 | 0.210 | -0.003 | 0.42 | 1.0 | 9.528 |
| 4 | 4.0 | 60.7 | -1.2 | 0.210 | -0.004 | 0.41 | 1.0 | 8.977 |
| 5 | 5.0 | 60.8 | -1.5 | 0.210 | -0.005 | 0.39 | 0.9 | 8.441 |
| 6 | 6.0 | 59.5 | -1.4 | 0.206 | -0.005 | 0.37 | 0.8 | 7.928 |
| 7 | 7.0 | 59.8 | -1.6 | 0.207 | -0.006 | 0.36 | 0.7 | 7.427 |
| 8 | 8.1 | 49.9 | -0.0 | 0.173 | -0.000 | 0.28 | 0.6 | 7.008 |
| 9 | 9.1 | 50.3 | -0.0 | 0.174 | -0.000 | 0.27 | 0.5 | 6.595 |
| 10 | 10.1 | 38.1 | -0.0 | 0.132 | -0.000 | 0.19 | 0.5 | 6.273 |
| 11 | 11.1 | 38.4 | -0.0 | 0.133 | -0.000 | 0.18 | 0.4 | 5.948 |
| 12 | 12.1 | 25.1 | -0.0 | 0.087 | -0.000 | 0.11 | 0.4 | 5.717 |
| 13 | 13.1 | 25.2 | -0.0 | 0.087 | -0.000 | 0.11 | 0.4 | 5.480 |
| 14 | 14.1 | 19.3 | -0.0 | 0.067 | -0.000 | 0.08 | 0.5 | 5.291 |
| 15 | 15.1 | 19.7 | -0.0 | 0.068 | -0.000 | 0.04 | 0.5 | 5.097 |
| Absolute | 3.0 | | | 0.210 | | | (T = | 17.6 ms) |
| | 7.0 | | | | -0.006 | | (T = | 41.7 ms) |

CASE METHOD

| J = | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|-------|-------------|------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| RP | 47.5 | 47.2 | 46.9 | 46.6 | 46.3 | 46.0 | 45.7 | 45.4 | 45.1 | 44.8 |
| RC | 60.2 | 58.9 | 57.7 | 56.6 | 55.6 | 54.5 | 53.4 | 52.4 | 51.4 | 50.4 |
| RU | 47.5 | 47.2 | 46.9 | 46.6 | 46.3 | 46.0 | 45.7 | 45.4 | 45.1 | 44.8 |
| RA0 = | 4.6 (tons); | | RA2 = 58.4 (tons) | | | | | | | |

Current CAPWAP Ru = 52.8 (tons); Corresponding J(RP) = 0.00; J(RC) = 0.66

| VWC | TVP | VT1*2 | FT1 | FWC | DWC | DVN | SET | EDC | QUS |
|------|------|-------|------|------|--------|-------|-------|---------|------|
| m/s | ms | tons | tons | tons | ms | ms | ms | tonne-m | tons |
| 1.21 | 8.95 | 25.6 | 24.8 | 59.8 | 11.121 | 5.001 | 5.000 | 0.5 | 56.6 |

PILE PROFILE AND PILE MODEL

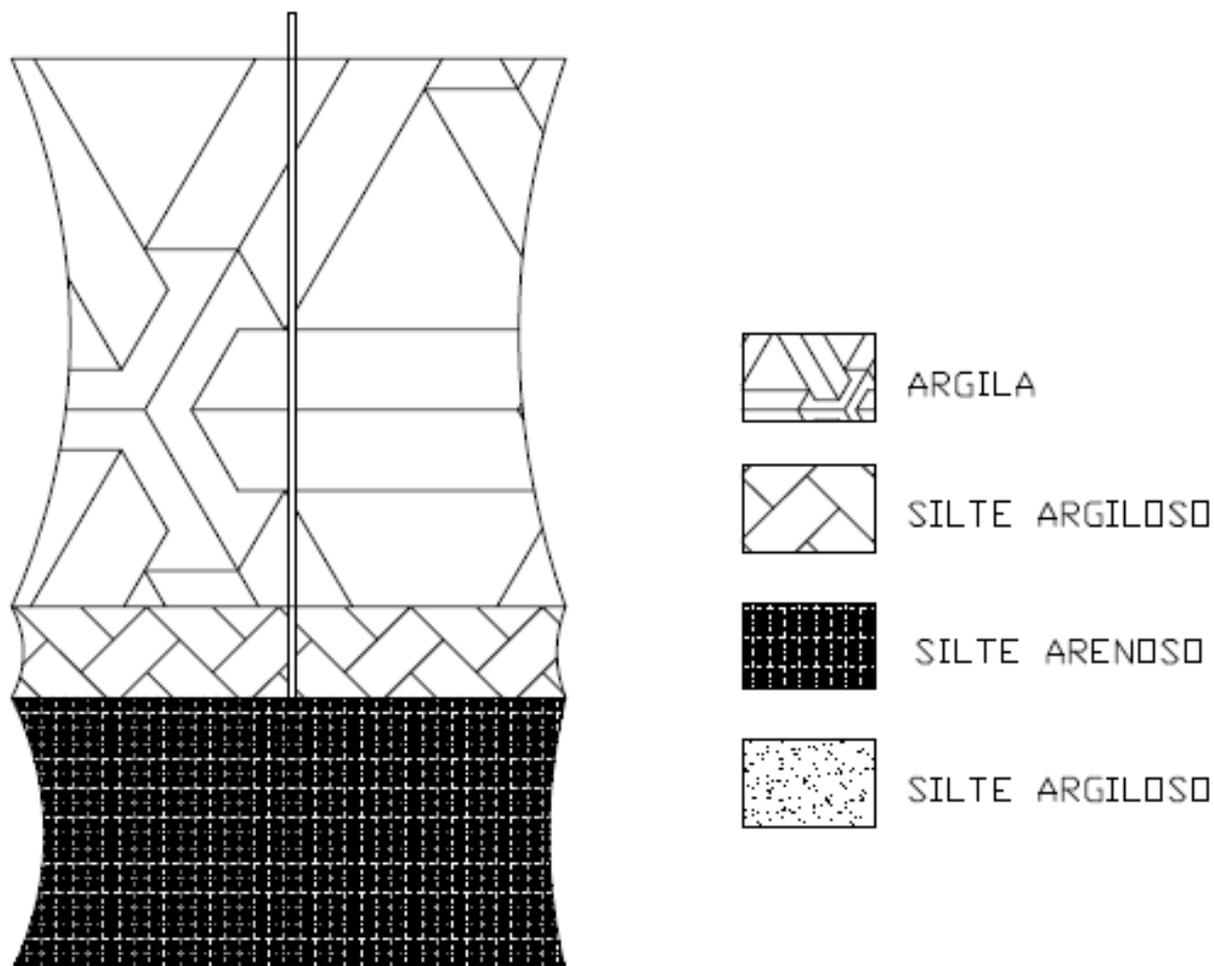
| Depth m | Area cm ² | E-Modulus tons/cm ² | Spec. Weight tons/m ³ | Perim. m |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 0.00 | 289.00 | 317.5 | 2.403 | 0.680 |
| 15.10 | 289.00 | 317.5 | 2.403 | 0.680 |

Toe Area 0.029 m²

Top Segment Length 1.01 m, Top Impedance 25.49 tons/m/s

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.280 ms, Wave Speed 3600.0 m/s, 2L/c 8.4 ms

7.8 PERFIL DE SONDAGEM

COMPRIMENTO CRAVADO: 14,54 METROSESTACA AE07P04
17x17 cm
SONDAGEM

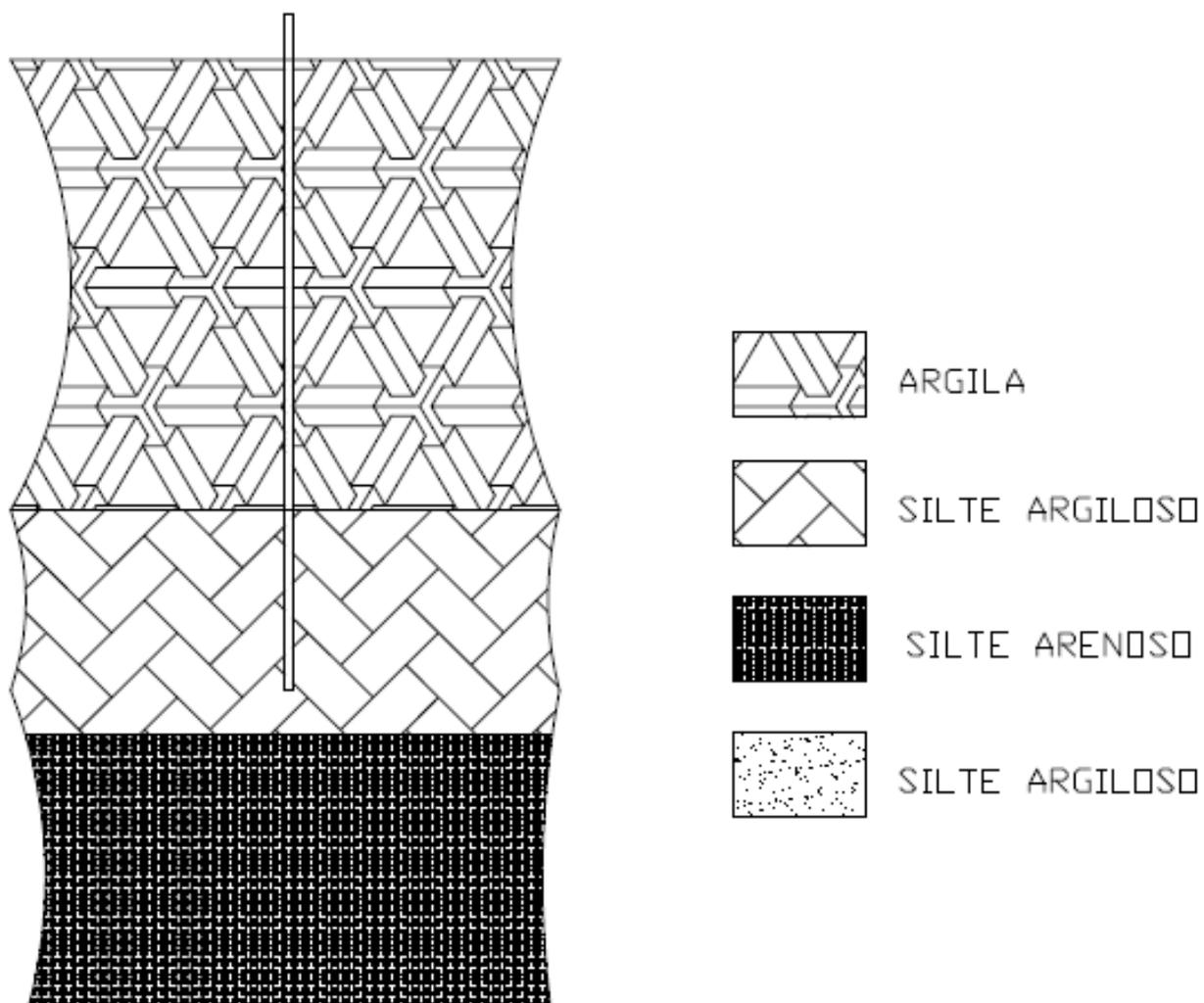
Argila: de - 1 a -12 metros.

Silte Argiloso: de -13 a -14 metros.

Silte Arenoso: de -15 a -20 metros.

COMPRIMENTO CRAVADO: 14,27 METROS

ESTACA P11E20
17x17 cm
SONDAGEM



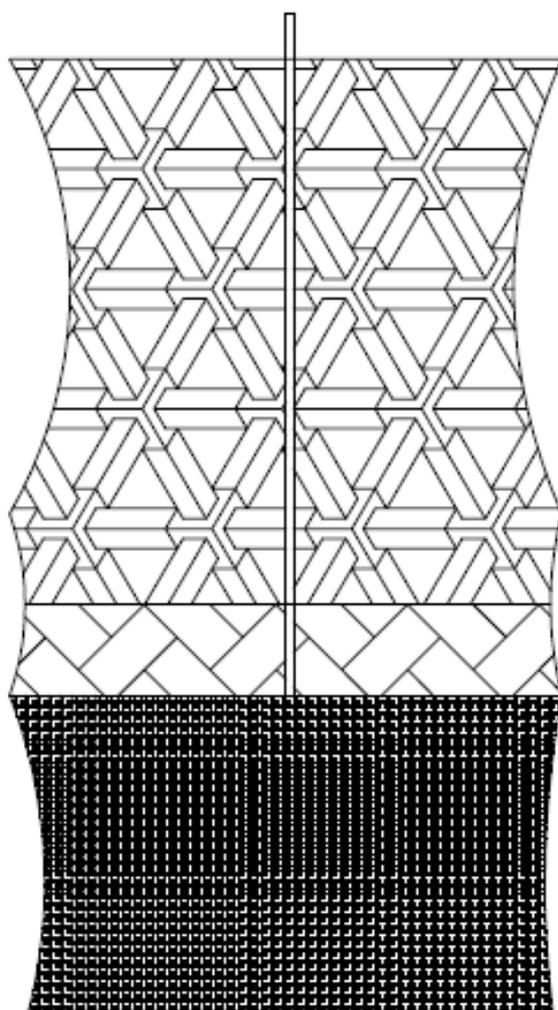
Argila: de - 1 a -10 metros.

Silte Argiloso: de -11 a -15 metros.

Silte Arenoso: de -16 a -21 metros.

COMPRIMENTO CRAVADO: 14,50 METROS

ESTACA P18E31
17x17 cm
SONDAGEM



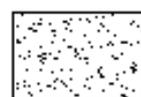
ARGILA



SILTE ARGILOSO



SILTE ARENOSO



SILTE ARGILOSO

Argila: de - 1 a -12 metros.

Silte Argiloso: de -13 a -14metros.

Silte Arenoso: de -15 a -21 metros.

7.9 REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 01 – Ensaio PDA



Foto 02 – Ensaio PDA



Foto 03 – Ensaio PDA



Foto 04 – Ensaio PDA



Foto 05 – Ensaio PDA



Foto 06 – Ensaio PDA