

RH[®] ENGENHARIA

RELATÓRIO 24-079

Cliente:

Prefeitura Municipal de Matão

Obra:

Creche - Bairro Nova Cidade

Local:

Matão - SP

Serviço:

Ensaio de Integridade PIT - Estacas tipo Strauss

06 e 07 de março de 2024 - 1ª Mobilização

Sumário

Introdução.	Página 1
Características das Estacas Ensaaiadas	Página 1
Tabela 1 - Características das Estacas	Página 2
Características do Subsolo.	Página 5
Descrição dos Ensaios	Página 6
Resultados Obtidos.	Página 7
Tabela 2 - Diagnósticos dos Ensaios PIT	Página 7
Observações	Página 12
Assinatura.	Página 12

A N E X O A

Certificado de Calibração do Acelerômetro Piezoelétrico

A N E X O B

Análises pelo Programa PIT-W™

A N E X O C

Equipamentos e Métodos Empregados

Introdução

Neste relatório são apresentados os resultados dos ensaios de integridade tipo PIT realizados pela PDI Engenharia em 92 das estacas integrantes das fundações das obras da nova Creche em fase de construção pela Prefeitura Municipal de Matão, no Bairro Nova Cidade, no município de Matão, SP.

Os serviços de campo foram efetuados nos dias 06 e 07 de março de 2024. No presente relatório são também apresentadas as análises elaboradas posteriormente no escritório.

Os equipamentos e os métodos de análise são descritos de maneira detalhada no Anexo C deste Relatório e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

Características das Estacas Ensaaiadas

As estacas ensaiadas são moldadas "in loco" e são denominadas estacas tipo Strauss. A perfuração das estacas deve ser iniciada com a escavação, no diâmetro previsto da estaca, até a profundidade de 2 m, servindo de guia para a introdução do primeiro tubo de revestimento metálico, o qual é denominado coroa, por apresentar a sua extremidade inferior dentada.

Na sequência a escavação ocorre pela introdução da piteira que retira o solo do tubo por meio de golpes sucessivos. Conforme a descida do tubo, rosqueia-se o próximo segmento até a escavação atingir a profundidade determinada. Quando isso acontece, é efetuada a limpeza completa do fundo da perfuração, eliminando-se a lama e a água eventualmente acumuladas.

A concretagem deve ser iniciada com uma primeira coluna de 1 m, devidamente apiloada pelo pilão e prossegue com a retirada gradativa do revestimento metálico. O lançamento do concreto é seguido pelo adensamento com golpes do pilão, com o objetivo de compactar a massa de concreto e também preencher integralmente a sessão da estaca.

Após a concretagem, são inseridas as barras de aço de espera para ligação com blocos e baldrames na extremidade superior da estaca. No caso de estacas armadas, a armadura é inserida antes do início dos procedimentos de concretagem.

Na Tabela 1 a seguir, são apresentadas as características das estacas ensaiadas da obra em questão, nessa primeira mobilização:

Estaca Nº	Diâmetro Teórico no Topo cm	Área do Topo cm ²	Diâmetro Real no Topo cm	Compr. Fuste (L) (m)	Relação L/D
E01	30	706,86	30	20,00	67
E02	30	706,86	30	20,00	67
E03	30	706,86	30	20,00	67
E04	30	706,86	30	20,00	67
E05	30	706,86	30	20,00	67
E06	30	706,86	30	20,00	67
E07	30	706,86	30	20,00	67
E08	30	706,86	30	20,00	67
E09	30	706,86	30	20,00	67
E10	30	706,86	30	20,00	67
E11	30	706,86	30	20,00	67
E12	30	706,86	30	20,00	67
E13	30	706,86	30	20,00	67
E14	30	706,86	30	20,00	67
E15	30	706,86	30	20,00	67
E16	30	706,86	30	20,00	67
E17	30	706,86	30	20,00	67
E18	30	706,86	30	20,00	67
E19	30	706,86	30	20,00	67
E20	30	706,86	30	20,00	67
E22	30	706,86	30	20,00	67
E23	30	706,86	30	20,00	67
E24	30	706,86	30	20,00	67
E25	30	706,86	30	20,00	67
E26	30	706,86	30	20,00	67
E27	30	706,86	30	20,00	67
E28	30	706,86	30	20,00	67

Estaca Nº	Diâmetro Teórico no Topo cm	Área do Topo cm ²	Diâmetro Real no Topo cm	Compr. Fuste (L) (m)	Relação L/D
E29	30	706,86	30	20,00	67
E30	30	706,86	30	20,00	67
E31	30	706,86	30	20,00	67
E32	30	706,86	30	20,00	67
E33	30	706,86	30	20,00	67
E34	30	706,86	30	20,00	67
E35	30	706,86	30	20,00	67
E36	30	706,86	30	20,00	67
E37	30	706,86	30	20,00	67
E38	30	706,86	30	20,00	67
E39	30	706,86	30	20,00	67
E40	30	706,86	30	20,00	67
E41	30	706,86	30	20,00	67
E42	30	706,86	30	20,00	67
E43	30	706,86	30	20,00	67
E44	30	706,86	30	20,00	67
E45	30	706,86	30	20,00	67
E46	30	706,86	30	20,00	67
E47	30	706,86	30	20,00	67
E48	30	706,86	30	20,00	67
E49	30	706,86	30	20,00	67
E50	30	706,86	30	20,00	67
E51	30	706,86	30	20,00	67
E52	30	706,86	30	20,00	67
E53	30	706,86	30	20,00	67
E54	30	706,86	30	20,00	67
E55	30	706,86	30	20,00	67

Estaca Nº	Diâmetro Teórico no Topo cm	Área do Topo cm ²	Diâmetro Real no Topo cm	Compr. Fuste (L) (m)	Relação L/D
E56	30	706,86	30	20,00	67
E57	30	706,86	30	20,00	67
E58	30	706,86	30	20,00	67
E59	30	706,86	30	20,00	67
E60	30	706,86	30	20,00	67
E61	30	706,86	30	20,00	67
E62	30	706,86	30	20,00	67
E63	30	706,86	30	20,00	67
E64	30	706,86	30	20,00	67
E65	30	706,86	30	20,00	67
E66	30	706,86	30	20,00	67
E67	30	706,86	30	20,00	67
E68	30	706,86	30	20,00	67
E69	30	706,86	30	20,00	67
E70	30	706,86	30	20,00	67
E71	30	706,86	30	20,00	67
E72	30	706,86	30	20,00	67
E73	30	706,86	30	20,00	67
E74	30	706,86	30	20,00	67
E75	30	706,86	30	20,00	67
E76	30	706,86	30	20,00	67
E77	30	706,86	30	20,00	67
E78	30	706,86	30	20,00	67
E79	30	706,86	30	20,00	67
E80	30	706,86	30	20,00	67
E81	30	706,86	30	20,00	67
E82	30	706,86	30	20,00	67

Estaca Nº	Diâmetro Teórico no Topo cm	Área do Topo cm ²	Diâmetro Real no Topo cm	Compr. Fuste (L) (m)	Relação L/D
E83	30	706,86	30	20,00	67
E84	30	706,86	30	20,00	67
E85	30	706,86	30	20,00	67
E86	30	706,86	30	20,00	67
E87	30	706,86	30	20,00	67
E88	30	706,86	30	20,00	67
E89	30	706,86	30	20,00	67
E90	30	706,86	30	20,00	67
E91	30	706,86	30	20,00	67
E92	30	706,86	30	20,00	67
E93	30	706,86	30	20,00	67

Tabela 1 - Características das Estacas

Notas:

- Relação $L/D \leq 30$ (relação ótima para o ensaio PIT), e
- Relação L/D até 50 (aceitável para pequeno atrito lateral).

A numeração das estacas ensaiadas, bem como as suas características foram informadas pela Contratante e a PDI Engenharia não tem responsabilidade sobre essas informações ou por qualquer divergência que seja constatada posteriormente.

Características do Subsolo

O subsolo local foi definido por meio de sondagens de simples reconhecimento do subsolo com medidas de resistência oferecida pelos solos à penetração dinâmica do Amostrador-Padrão (SPT).

Não foram fornecidos os resultados dos perfis de sondagens de simples reconhecimento para a ilustração geotécnica do subsolo nos locais de realização dos ensaios de integridade PIT.

Descrição dos Ensaios

Para a realização dos ensaios PIT foram preparadas superfícies de execução de ensaio após das estacas. No preparo das superfícies para a execução do ensaio PIT foi usada esmerilhadeira elétrica munida com disco de desbaste.

Os ensaios de integridade PIT foram executados com um acelerômetro piezoelétrico de alta sensibilidade fixado na superfície de ensaio preparada no topo de cada estaca. O certificado de calibração do acelerômetro piezoelétrico fornecido pela PDI-USA é apresentado no Anexo A deste Relatório.

Após a fixação do acelerômetro com resina adesiva, foram aplicados golpes consecutivos com martelo de mão não instrumentado de 2.723 g.

Dos golpes aplicados, aqueles considerados mais representativos foram selecionados para o registro do sinal médio, através de gravação digital com o equipamento "PIT Collector".

Os sinais assim coletados e registrados foram depois transferidos para um arquivo de computador, de modo a permitir seu posterior reprocessamento e arquivamento.

No início dos serviços de campo dos ensaios PIT em geral é adotada uma velocidade de propagação da onda no concreto de 4.000 m/s. Esse valor de velocidade é típico para ensaio com pequenas deformações e nesse tipo de concreto.

Esse valor de velocidade também é fixado quando não é conhecido o comprimento efetivo do fuste ou quando, por algum motivo, não é possível detectar a ponta da estaca no comprimento informado inicialmente.

Nas análises posteriores pode-se avaliar melhor, indiretamente, o valor da velocidade de propagação da onda no concreto das estacas.

De qualquer maneira, o valor limite máximo de velocidade de propagação da onda no concreto foi fixado em 4.500 m/s, o qual já foi comprovado no concreto de estacas de obras similares.

Para a comprovação de um valor mais realístico da velocidade de propagação da onda no concreto, no caso em que a ponta da estaca não é detectada ou não se tem certeza do comprimento efetivo de concreto do fuste, o ensaio de integridade PIT pode ser executado através da instalação de acelerômetros especiais em 2 (duas) posições distintas na estaca, na mesma prumada e com distância conhecida.

Esse procedimento pode possibilitar o cálculo da velocidade de propagação da onda no concreto de modo direto.

Resultados Obtidos

Os ensaios de integridade PIT em 92 das estacas integrantes das fundações da obra em questão permitiram a verificação da integridade do fuste delas.

Na Tabela 2, a seguir, são apresentados os resultados dos diagnósticos dos ensaios PIT:

Estaca Nº	Veloc. Onda m/s	Diagnóstico pelo programa PIT-W
E01	4.200	Estaca contínua com anomalia intensa a 10 m
E02	3.600	Estaca contínua com anomalia a 9 m
E03 ⁽¹⁾	3.350	Estaca contínua com anomalia a 12 m (WS baixa)
E04	4.100	Estaca contínua com anomalias a 2, 10 e 15 m
E05	3.800	Estaca contínua com anomalia a 15 m
E06	4.100	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E07	3.800	Estaca contínua com anomalias a 11, 12 e 17 m
E08	4.500	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E09	3.800	Estaca contínua com anomalia a 11 m
E10	4.100	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E11	4.500	Estaca contínua com anomalias a 8 e 15 m
E12	4.000	Estaca contínua até 17 m
E13	3.600	Estaca contínua até 14 m com anomalia a 5 m
E14 ⁽¹⁾	3.410	Estaca contínua com anomalia a 4 e anomalia intensa a 13 m (WS baixa)
E15	4.200	Estaca contínua com anomalias a 6 e 13 m
E16	4.000	Estaca contínua até 12 m com anomalia a 7 m
E17	3.900	Estaca contínua até 11 m
E18	3.840	Estaca contínua

Estaca Nº	Veloc. Onda m/s	Diagnóstico pelo programa PIT-W
E19	4.000	Estaca contínua com anomalia a 6 e anomalia intensa e extensa a 10 m
E20	3.900	Estaca contínua com anomalias a 4, 6 e 9 m
E22	4.500	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E23	4.300	Estaca contínua com extensa anomalia a 12 m
E24	3.600	Estaca contínua com anomalias a 10, 13 e 15 m
E25	4.210	Estaca contínua
E26	3.730	Estaca contínua
E27	4.500	Estaca contínua com anomalia a 11 m
E28	3.800	Estaca contínua com anomalias a 12 e 16 m
E29	4.100	Estaca contínua
E30	4.400	Estaca contínua com anomalia intensa e extensa a 13 m
E31	3.900	Estaca contínua com anomalia a 10 m
E32	3.720	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E33	3.900	Estaca contínua com anomalias a 13 e a 17 m
E34	3.800	Estaca contínua com anomalia a 14 m
E35	3.900	Estaca contínua com anomalias a 6, 12 e 14 m
E36	3.600	Estaca contínua com anomalias a 12 a 15 m
E37	4.000	Estaca contínua com anomalias a 13 e 15 m
E38	3.900	Estaca contínua com anomalias a 14 e 16 m
E39	3.800	Estaca contínua com anomalia intensa e extensa a 11 e anomalias a 18 e 19 m
E40	4.400	Estaca contínua com anomalia a 13 e anomalia intensa a 15 m
E41	4.000	Estaca contínua com anomalias a 13 e 17 m
E42	3.800	Estaca contínua com anomalias a 13 e 15 m
E43	4.120	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E44	4.300	Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m

Estaca Nº	Veloc. Onda m/s	Diagnóstico pelo programa PIT-W
E45	4.000	Estaca contínua com anomalia a 10 m
E46	4.100	Estaca contínua com anomalias a 11, 13 e 16 m
E47	3.900	Estaca contínua
E48	4.500	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E49	3.700	Estaca contínua com anomalia a 8 m
E50	3.600	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E51	4.000	Estaca contínua até 15 m
E52	4.000	Estaca contínua até 14 m com anomalia a 12 m
E53	4.000	Estaca contínua até 18 m com anomalias a 14 e 16 m
E54	4.200	Estaca contínua com anomalia a 11 m
E55	4.300	Estaca contínua com anomalia a 17 m
E56	4.400	Estaca contínua com anomalias a 8 e 13 m
E57	3.890	Estaca contínua com anomalia intensa a 10 m
E58	3.500	Estaca contínua com anomalia a 9 m
E59	4.000	Estaca contínua até 18 m com anomalia a 16 m
E60	4.100	Estaca contínua
E61	4.000	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E62	4.000	Estaca contínua com fuste afunilado a partir de 11 m
E63	4.300	Estaca contínua com anomalias a 12 e 18 m
E64	3.700	Estaca contínua com anomalias a 9, 12, 16 e 18 m
E65	3.600	Estaca contínua com anomalia intensa a 9 e anomalia a 15 m
E66	3.930	Estaca contínua com anomalias a 10 e 13 m
E67	4.100	Estaca contínua com anomalia a 11 m
E68	4.200	Estaca contínua com anomalias a 10 e 15 m
E69	4.200	Estaca contínua
E70	4.500	Estaca contínua com anomalias a 13 e 17 m

Estaca Nº	Veloc. Onda m/s	Diagnóstico pelo programa PIT-W
E71	4.500	Estaca contínua com anomalia a 13 m
E72	3.600	Estaca contínua com anomalia a 7 m
E73	4.300	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E74	3.800	Estaca contínua com fuste afunilado a partir de 12 m
E75	4.100	Estaca contínua
E76	4.400	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E77	4.000	Estaca contínua até 11 m
E78	4.100	Estaca contínua
E79	4.200	Estaca contínua
E80	4.400	Estaca contínua com anomalia a 10 m
E81	3.700	Estaca contínua
E82	3.900	Estaca contínua com anomalia a 10 m
E83	4.400	Estaca contínua
E84	4.000	Estaca contínua com anomalias a 12 e 16 m
E85	3.900	Estaca contínua com anomalias a 12, 17 e 19 m
E86	3.900	Estaca contínua com anomalia a 11 m
E87	4.400	Estaca contínua com anomalia a 14 m
E88	3.700	Estaca contínua com anomalias a 16 e 18 m
E89	4.100	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E90	4.200	Estaca contínua com anomalias a 11, 15 e 17 m
E91	3.700	Estaca contínua com anomalia a 10 m
E92	3.800	Estaca contínua com anomalia a 12 m
E93	4.100	Estaca contínua com anomalias a 12, 15 e 17 m

Tabela 2 - Diagnósticos dos Ensaios PIT

Nota:

- (1) - Velocidade de propagação da onda abaixo de 3.500 m/s.

A velocidade de propagação da onda no concreto é função da sua resistência e do tempo de cura do concreto.

A velocidade de propagação da onda para concretos de boa qualidade varia desde 3.500 m/s até 4.500 m/s para ensaios de pequena deformação, como é o caso do ensaio de integridade PIT.

Portanto, a velocidade de propagação média é de 4.000 m/s, com variação para mais e menos de 12,5%. Assim, velocidades de propagação da onda abaixo de 3500 m/s são consideradas baixas e em geral estão associadas a concreto de má qualidade, ou concreto poroso, ou concreto deficiente etc, como no caso das estacas:

- E03 WS = 3.350 m/s,
- E14 WS = 3.410 m/s.

Para compreender os termos utilizados nos diagnósticos dos ensaios de integridade tipo PIT, faz-se necessário definir os termos "anomalia" e "dano".

O termo "anomalia" indica que foi detectada reflexão de onda de tração em razão de redução de impedância, mas é visível o retorno às condições normais, com propagação da onda abaixo da anomalia, e também é clara a reflexão da ponta da estaca.

O termo "dano" indica que foi detectada forte reflexão na posição indicada pelo ensaio PIT, por vezes até com padrão repetitivo de sinal, o qual é típico de interrupção do fuste da estaca, com pouca ou nenhuma transmissão da onda abaixo desse ponto e reflexão de ponta inexistente ou pouco clara.

No caso de "dano", não é possível avaliar o estado da estaca abaixo dele, para isso seria necessário efetuar a demolição ou remoção da parte superior do fuste acima do dano e repetir o ensaio PIT após o preparo de nova superfície de ensaio.

As anomalias e os danos devem ser compreendidos como sendo uma redução da grandeza da estaca designada por impedância.

A grandeza impedância (**Z**) é intrínseca da estaca e é definida pela seguinte expressão matemática:

$$Z = \frac{(EA)}{c} = A \sqrt{\frac{E\gamma}{g}} , \text{ onde:}$$

- **E** é o módulo de elasticidade dinâmico do material da estaca,
- **A** é a área da seção transversal,
- **c** é a velocidade de propagação da onda no concreto,
- **γ** é o peso específico do material da estaca, e
- **g** é a aceleração da gravidade.

Portanto, uma redução da impedância pode significar tanto uma redução da área de seção transversal como uma redução da resistência do concreto, ou uma combinação das duas reduções.

Caso a estaca apresente concreto são e uniforme, a redução da impedância seria em razão de redução da área útil de concreto na seção transversal, como, por exemplo, em razão da intrusão do solo na massa de concreto, trinca, fissura, vazio, estrangulamento da seção transversal etc.

Se a seção transversal for uniforme, a redução da impedância seria em razão da redução do valor do módulo de elasticidade, ou seja, em razão de algum problema relativo à qualidade do concreto, como, por exemplo, em razão de porosidade, segregação de materiais, contaminação, falta de cura do concreto etc.

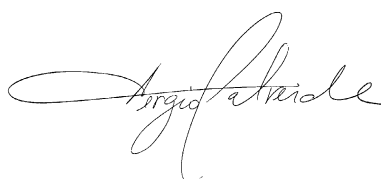
Vale ressaltar também que as anomalias podem ocorrer em razão das duas causas citadas anteriormente, atuando em conjunto.

No Anexo B encontra-se o reproprocessamento da média dos sinais obtidos nas 92 estacas ensaiadas nessa primeira mobilização, os quais foram analisados pelo programa PIT-W.

Observações

- O ensaio PIT não fornece informação a respeito da capacidade de carga da estaca ensaiada. Assim, o fato de a estaca se apresentar contínua não é garantia "a priori" de que ela atenda à carga de trabalho especificada em Projeto.
- O ensaio PIT não se trata de um ensaio de verdadeira grandeza. Portanto, eventuais anomalias encontradas podem não comprometer a utilização da estaca, tendo em vista os carregamentos reais a que ela será submetida.
- A utilização e a influência dos resultados aqui apresentados, na análise do comportamento das estacas como elementos de fundação da obra em questão, deverão ser verificadas pelo consultor de fundações e pelo projetista das estruturas.

Rio de Janeiro, 12 de março de 2024



Eng. Sergio Valverde
CREA-RJ 2002102815
CREA-SP 0600559119

Arquivo em D:\Wpdocs\Relatorios\2024\24-079

ANEXO A

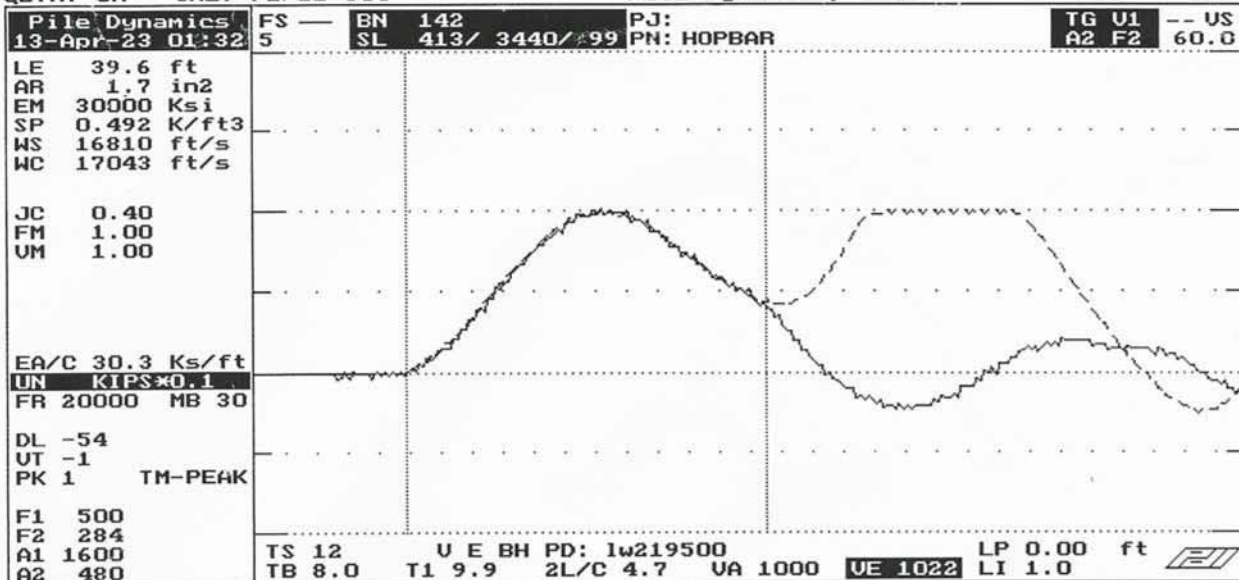
Calibração do Acelerômetro Piezoelétrico

QBTA: ON [ALT-F1/BB=60]

Pile Dynamics, Inc.

*US

DPF



STANDBY SQ-OFF FL-OFF PR-OFF



contact Pile Dynamics USA
 with your questions
 tel USA - 216 - 831- 6131
 fax USA - 216 - 831- 0916

<-AT:PIEZORESISTIVE

VMX= 30.1 FMX= 25 AMX= 777
 EMX= 1.8 MEX= 49 FUP= 0.02

ACCELEROMETER CALIBRATION

N.I.S.T. Traceable

SERIAL NUMBER: LW219500

CALIBRATION FACTOR: 9.6 %

PAK (*5000):

DATE: 13 APR 23

PDA OPERATOR: [Signature]

OP: laine [ver:4.05]

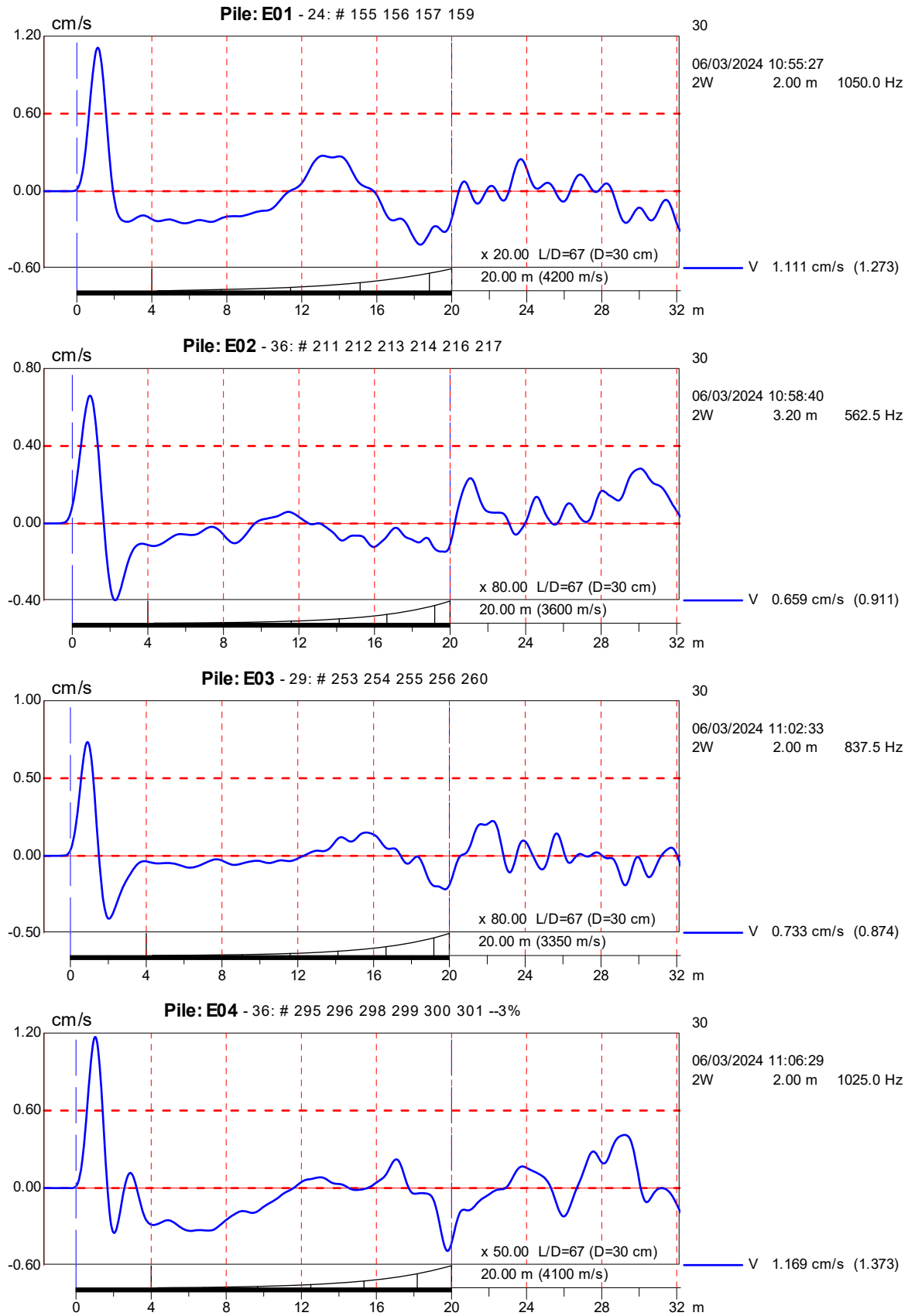
>AT:PIEZOELECTRIC<

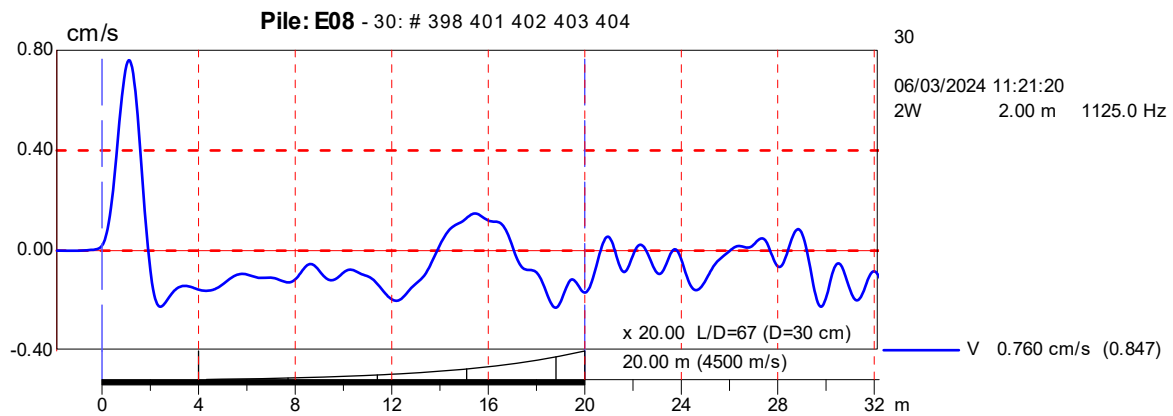
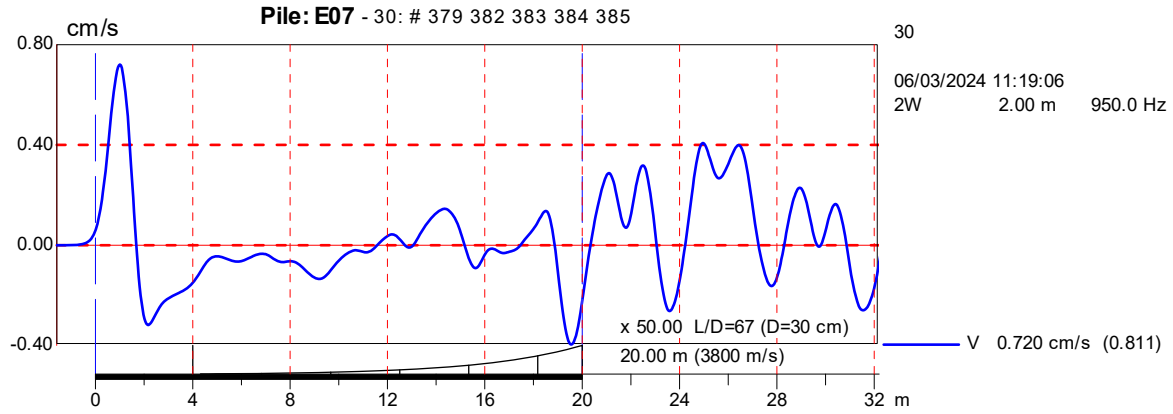
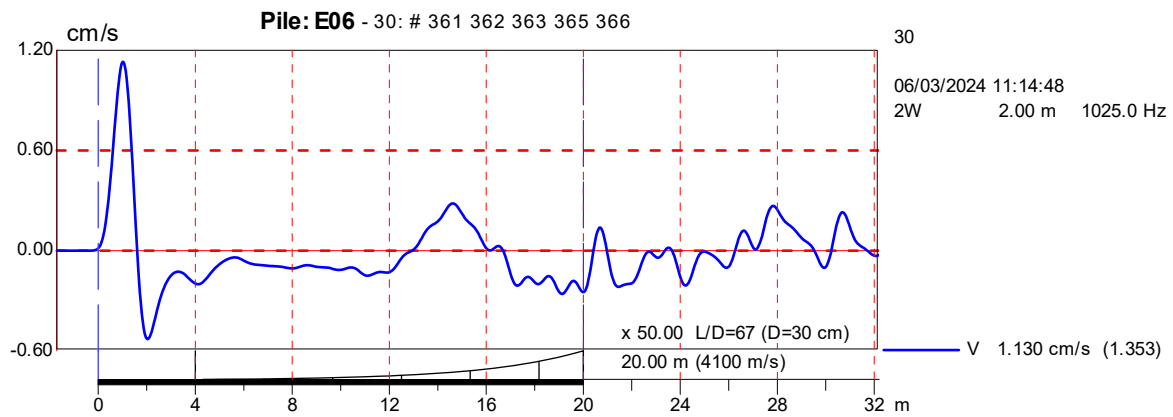
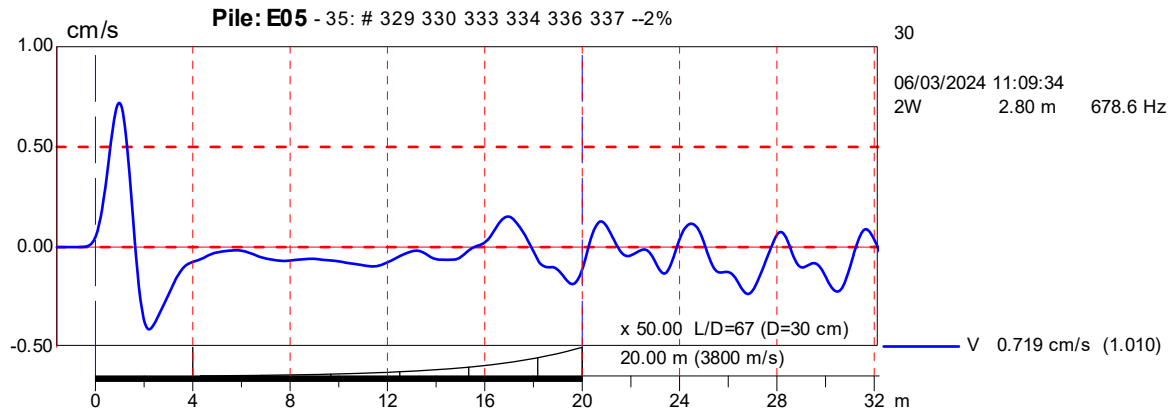
ANEXO B

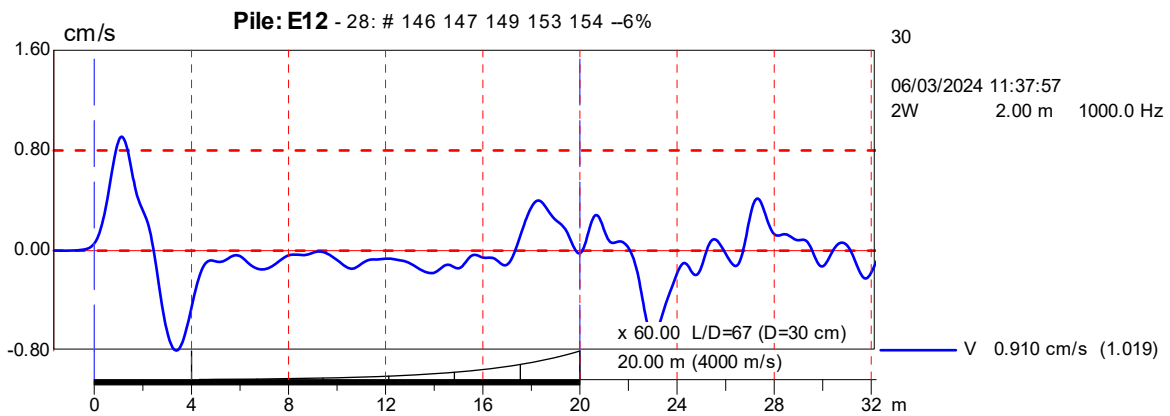
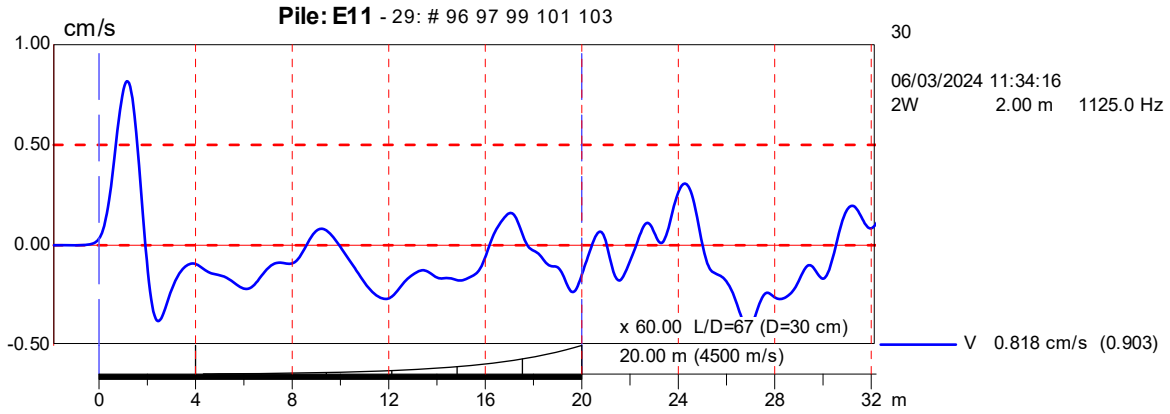
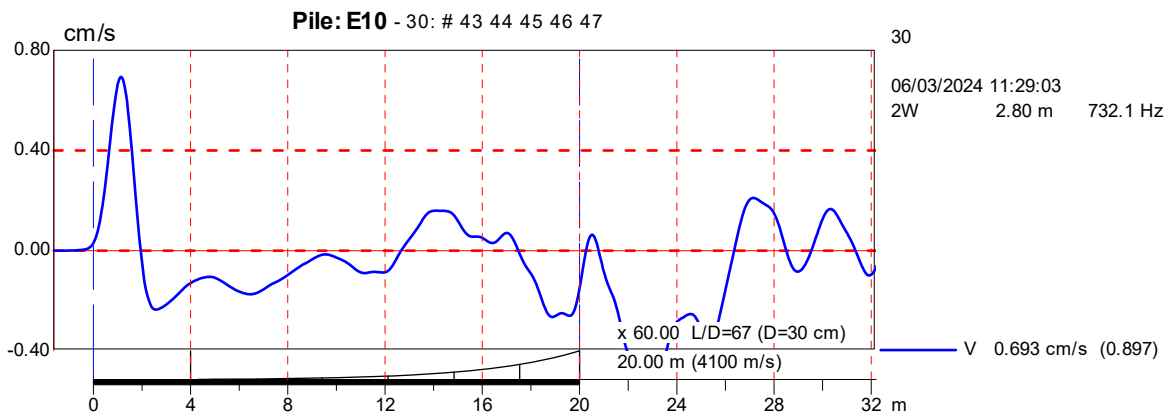
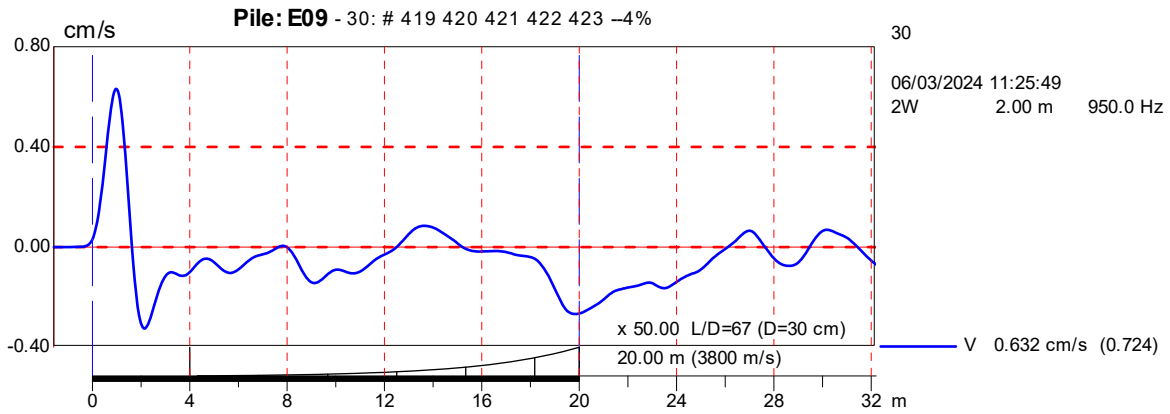
Resultados pelo Programa PIT-WTM

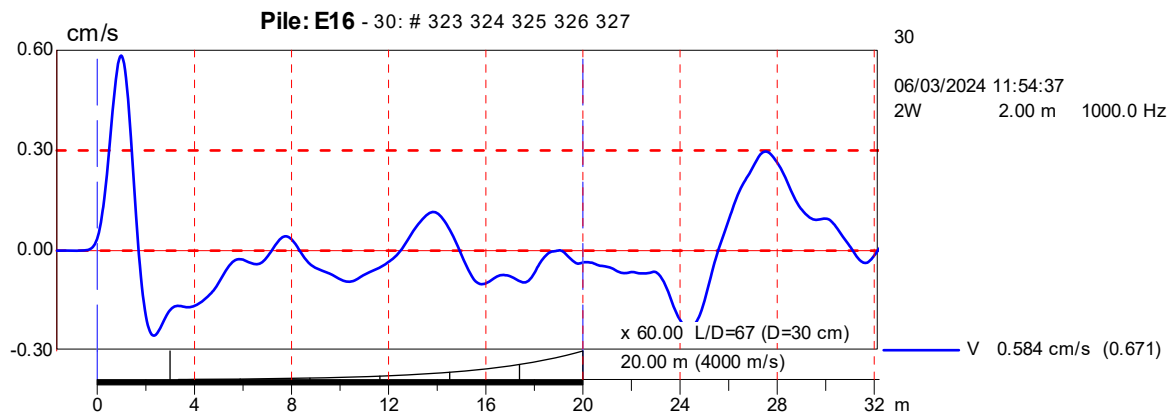
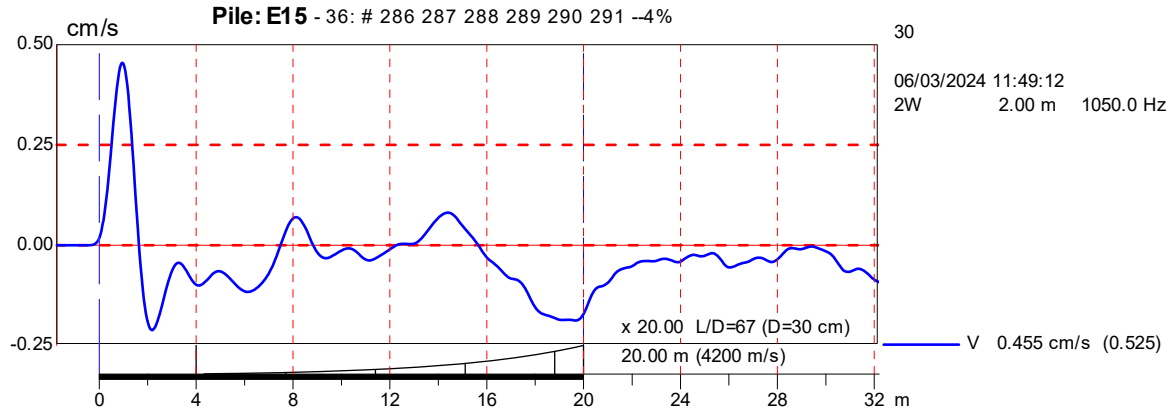
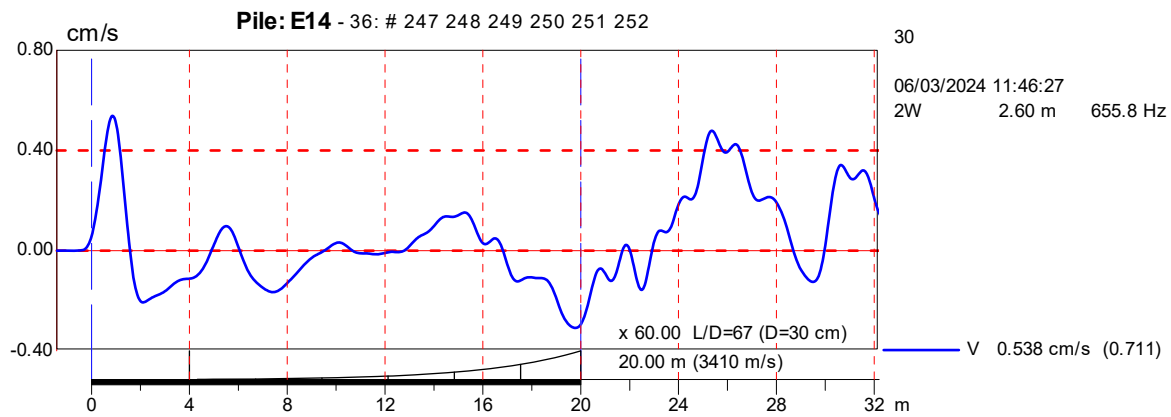
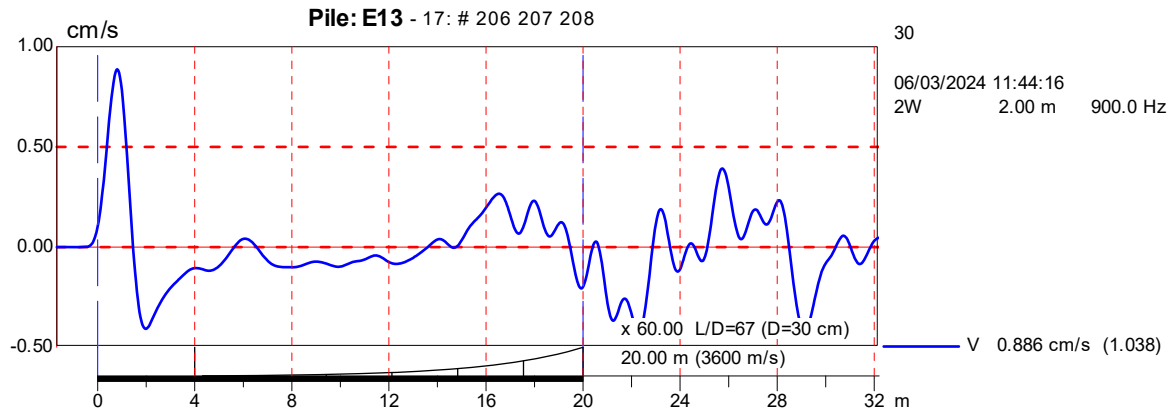
DESCRIÇÃO

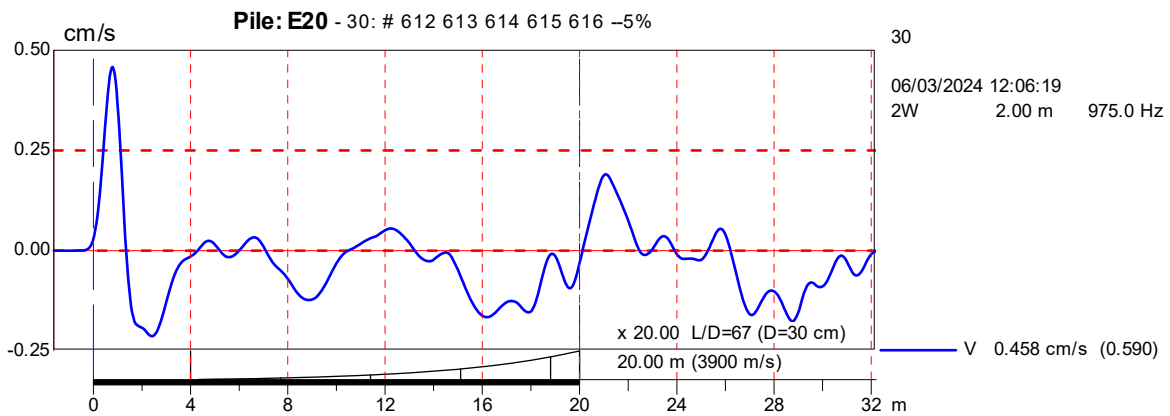
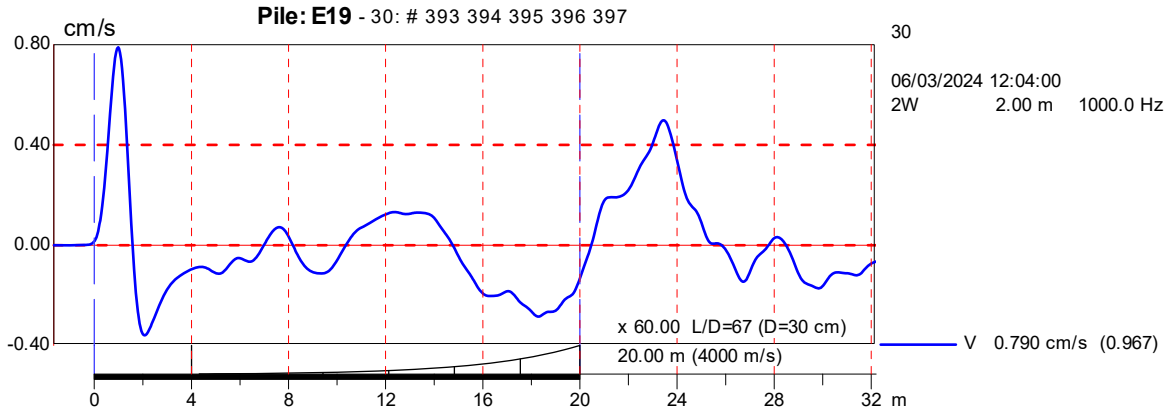
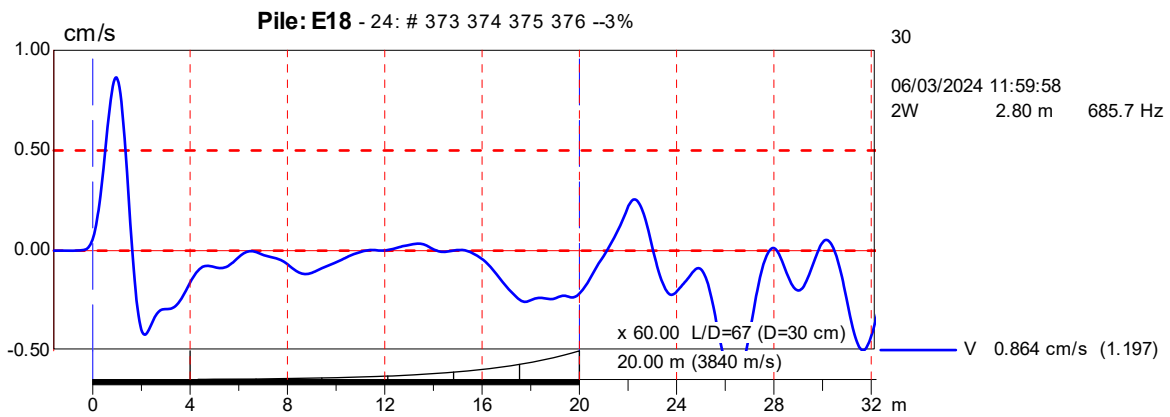
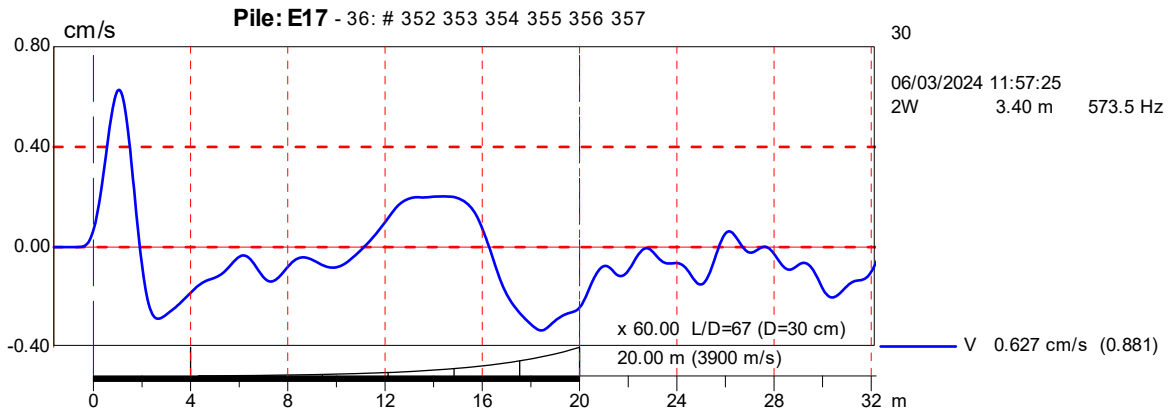
1. Cada página contém os sinais referentes a 4 (quatro) estacas ensaiadas.
2. Cada gráfico representa a média dos sinais referentes a vários golpes. O número de golpes incluídos na média é mostrado na parte superior do gráfico, com os números de registro deles no "PIT Collector".
3. O sinal de velocidade é representado por uma linha contínua, e o de força (quando existente) por uma linha tracejada.
4. O diagrama em negrito abaixo do gráfico representa o comprimento da estaca. O gráfico exponencial acima dele representa a magnificação utilizada (amplificação exponencial), a qual atinge seu valor máximo na região onde se localiza a reflexão da ponta da estaca.
5. À direita do diagrama acima descrito podem ser vistos os valores da amplificação máxima, da relação entre o comprimento da estaca e seu diâmetro real (L/D), do comprimento entre o acelerômetro e a ponta e da velocidade de onda adotada.
6. À direita de cada gráfico são mostradas as seguintes informações, a partir da parte superior: número da estaca, informação adicional introduzida pelo operador, data e hora de aquisição dos dados, filtros porventura utilizados no reprocessamento e impedância do topo da estaca (quando disponível).

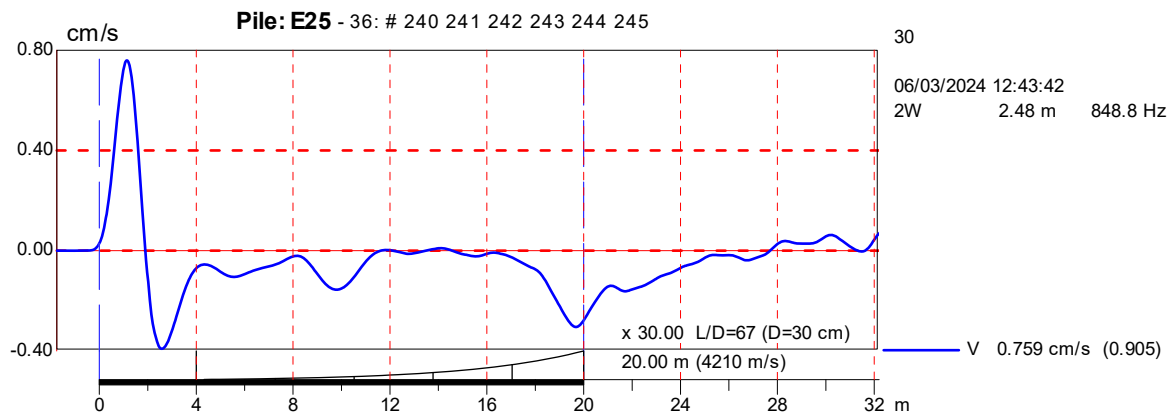
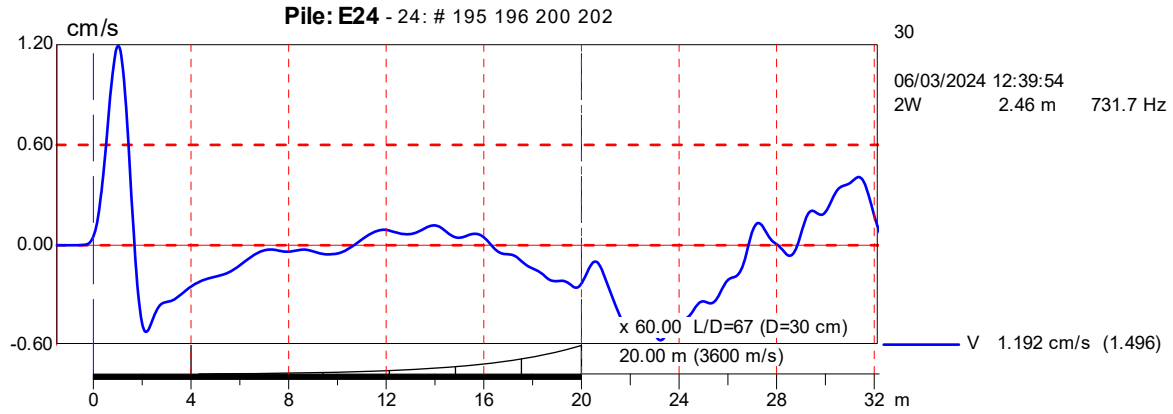
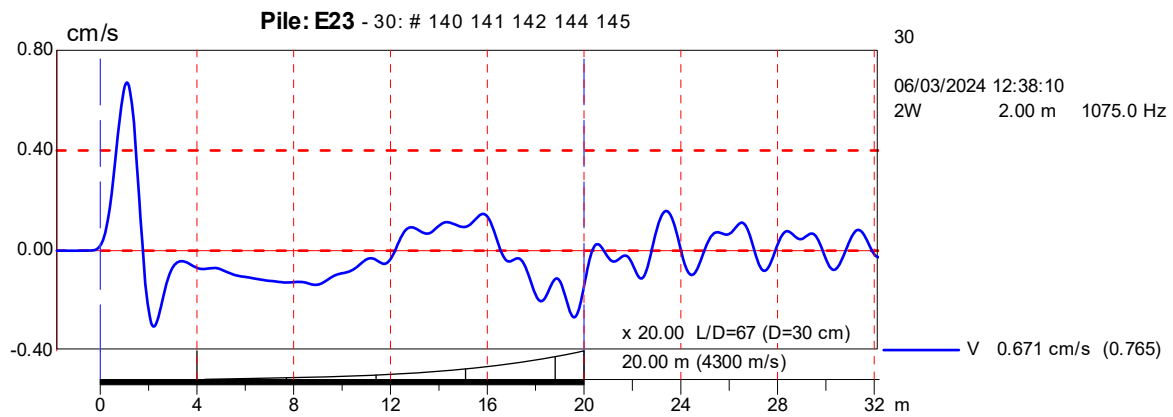
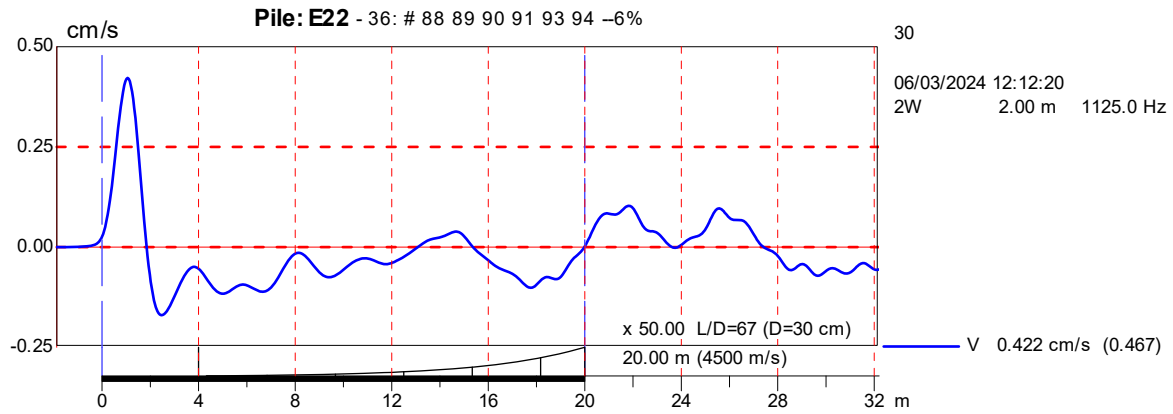


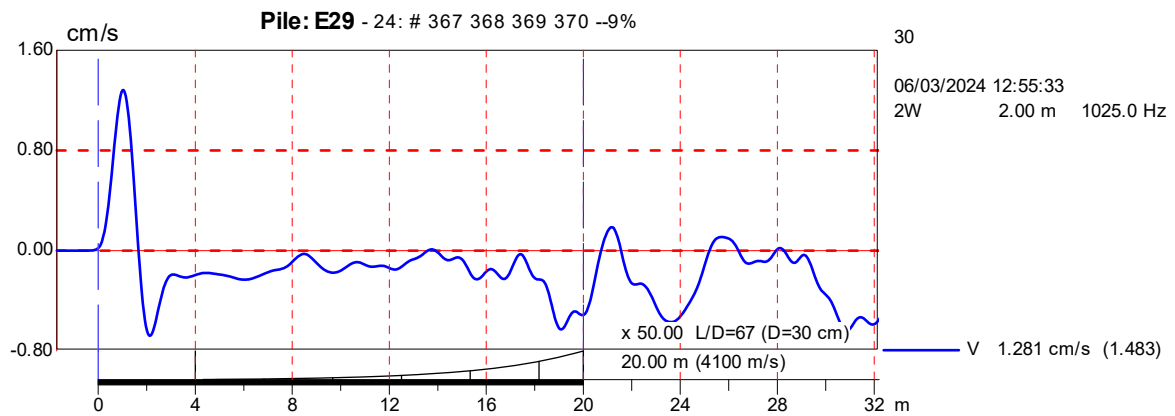
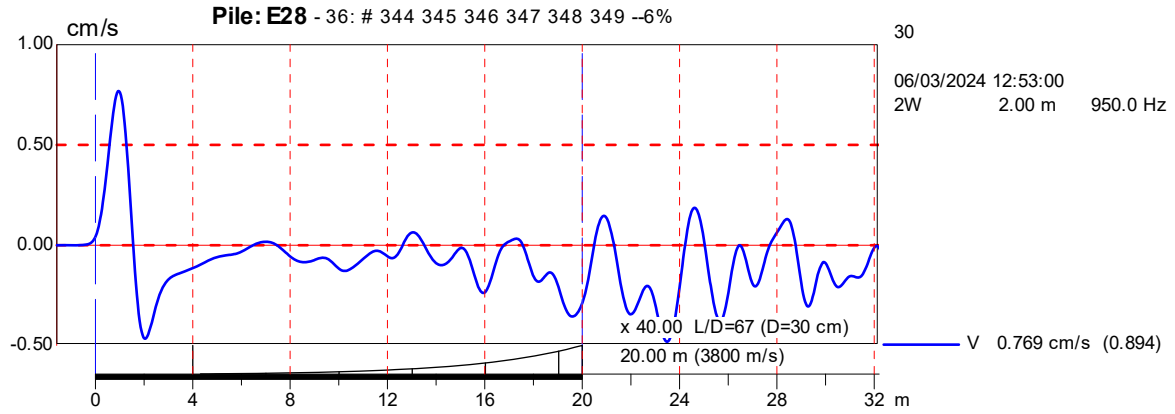
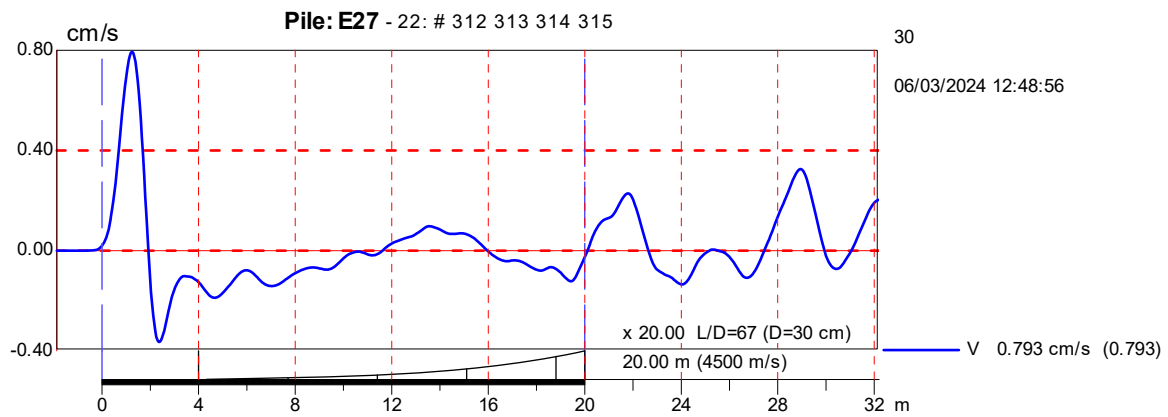
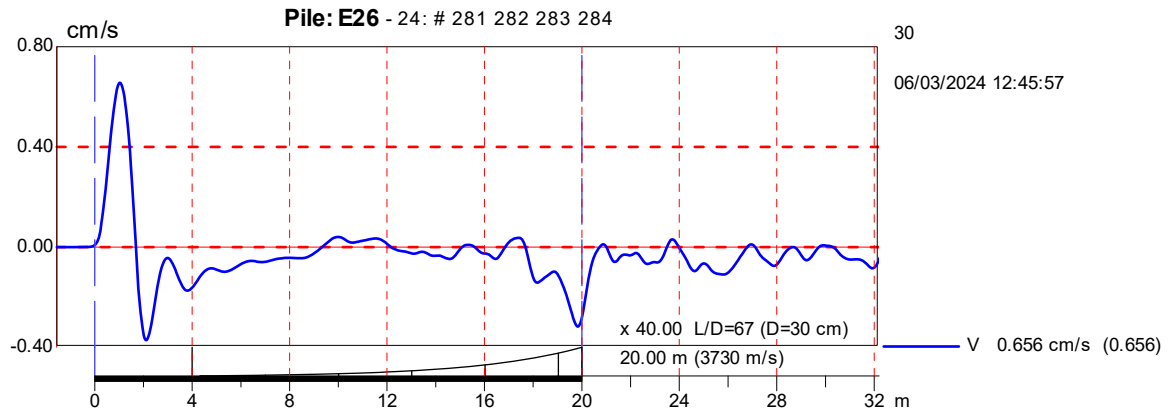


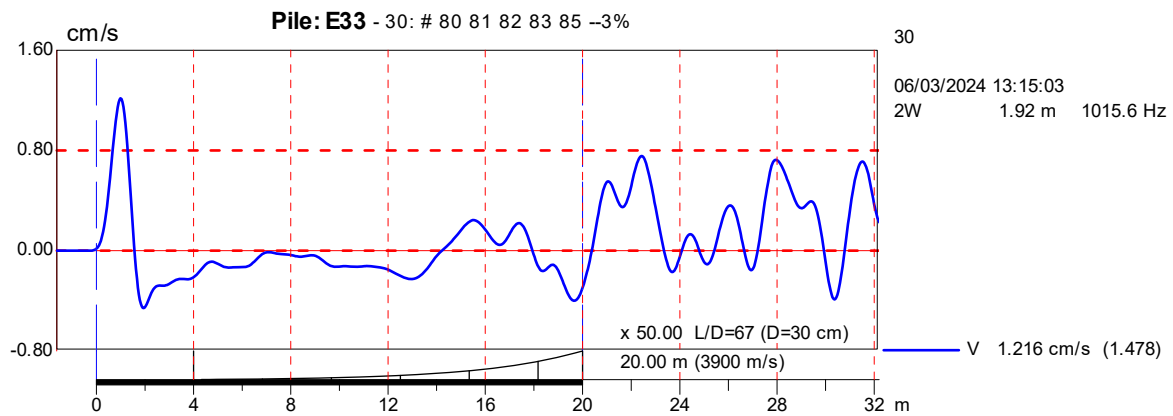
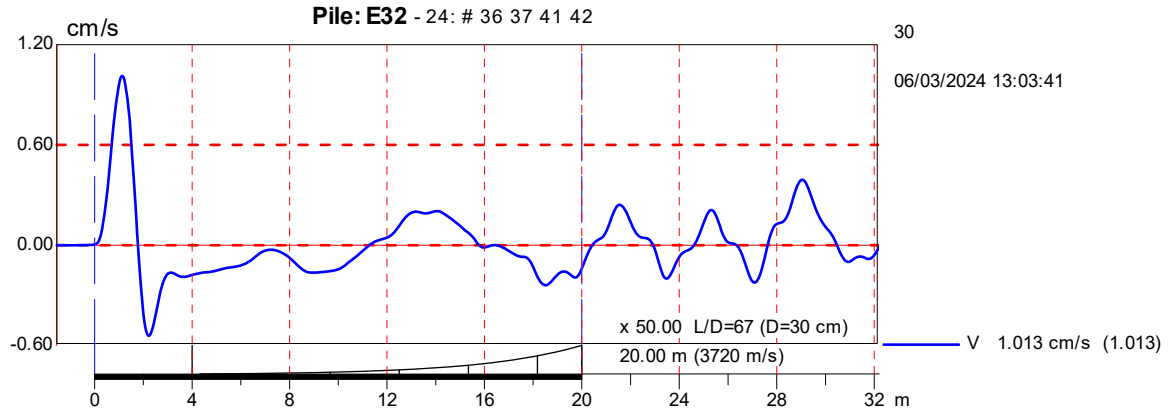
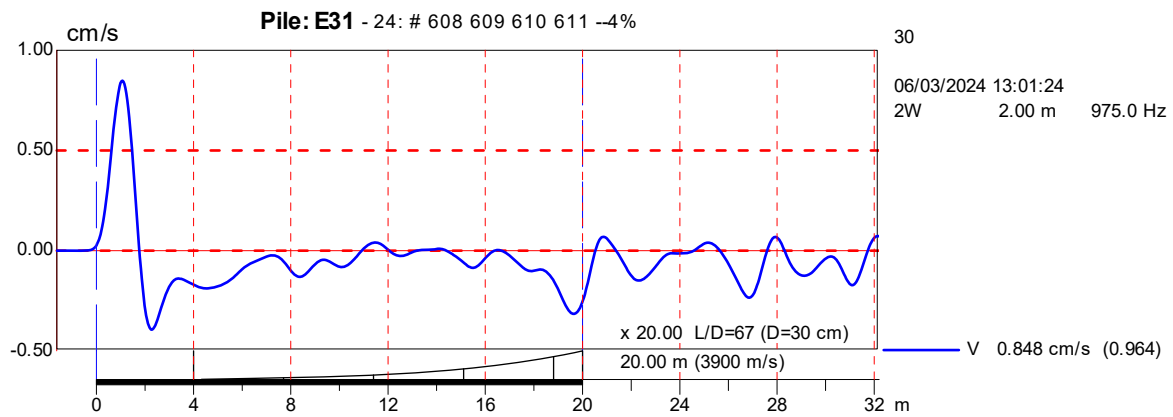
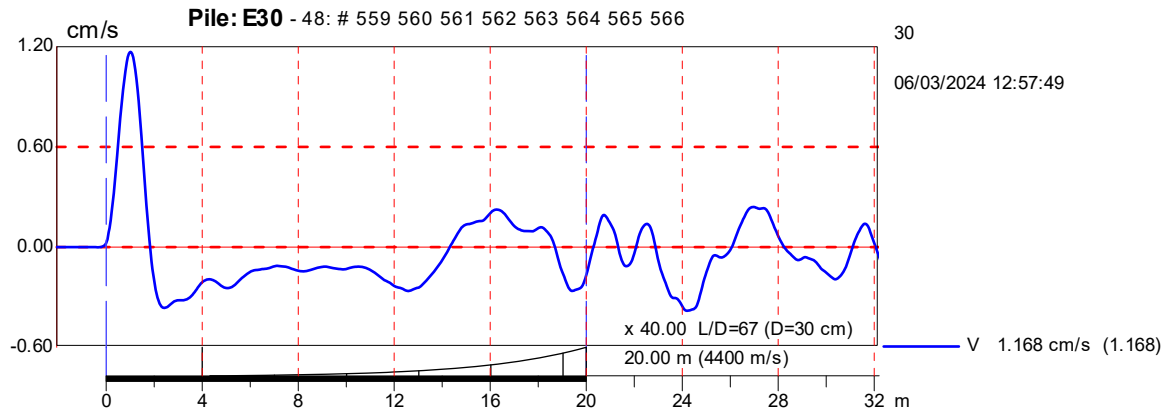


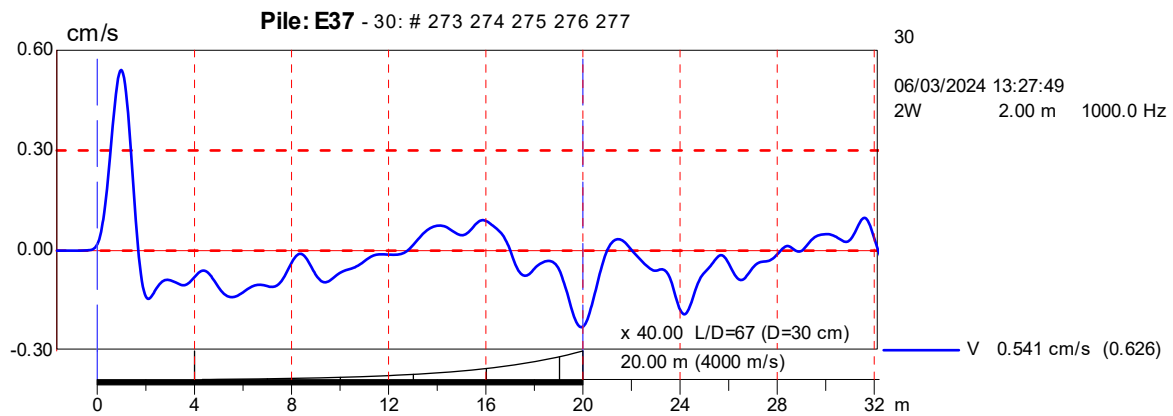
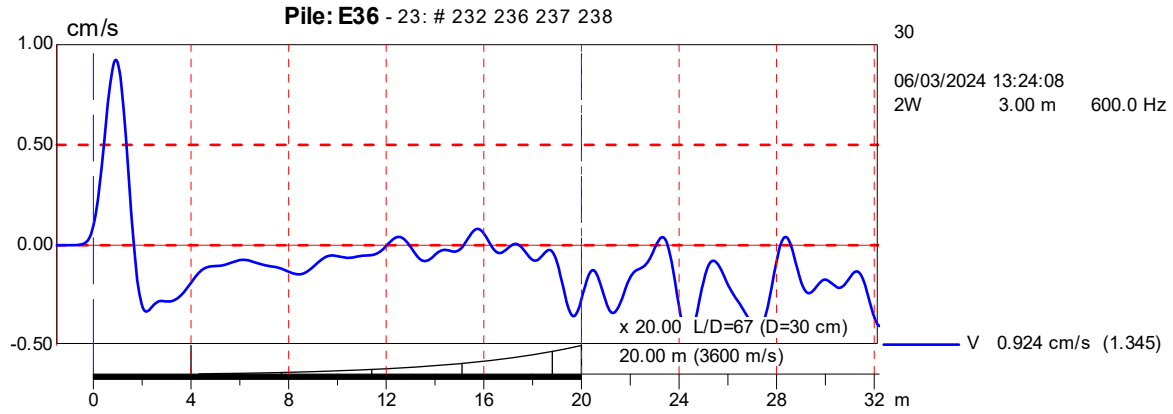
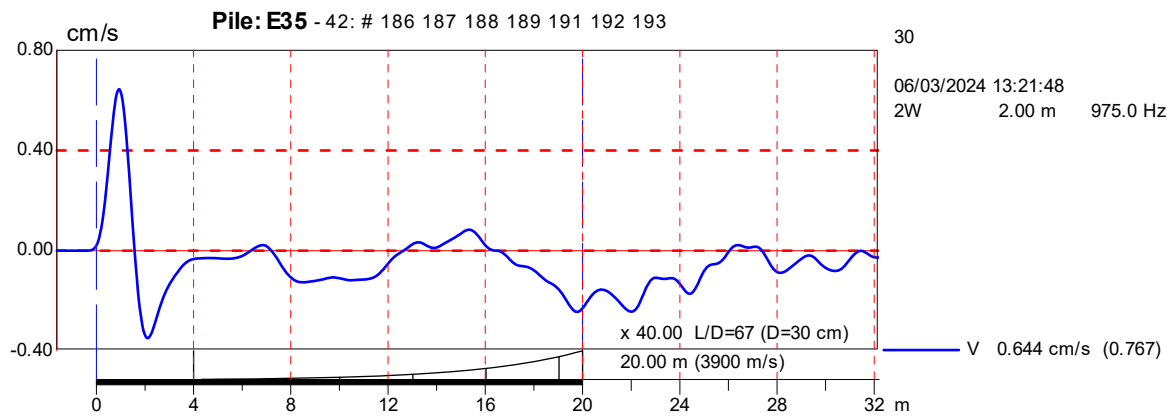
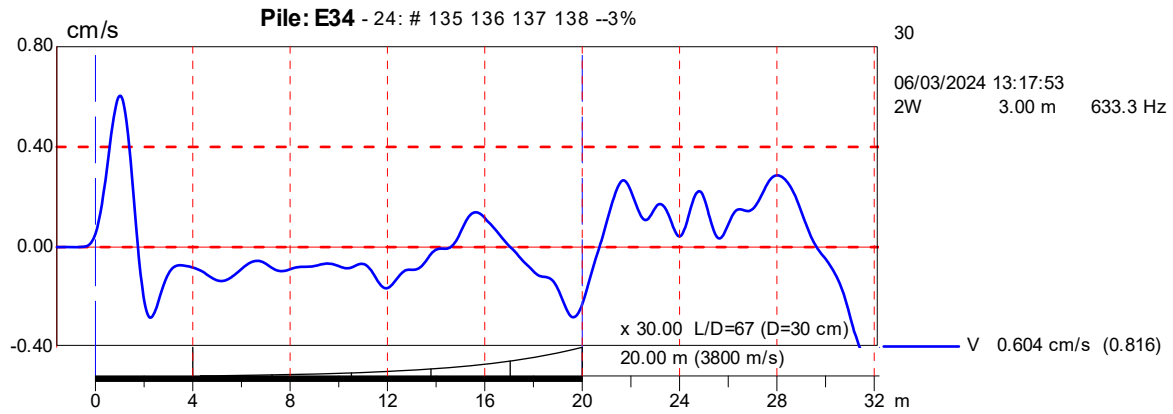


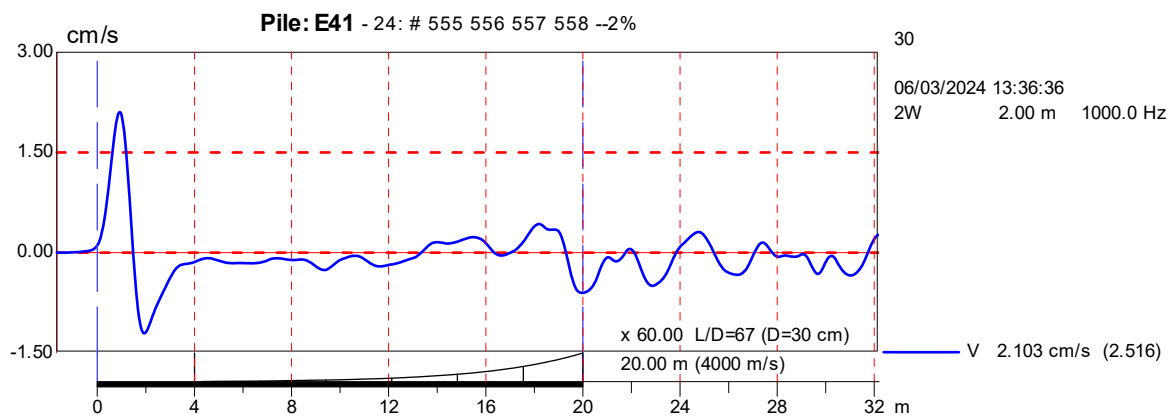
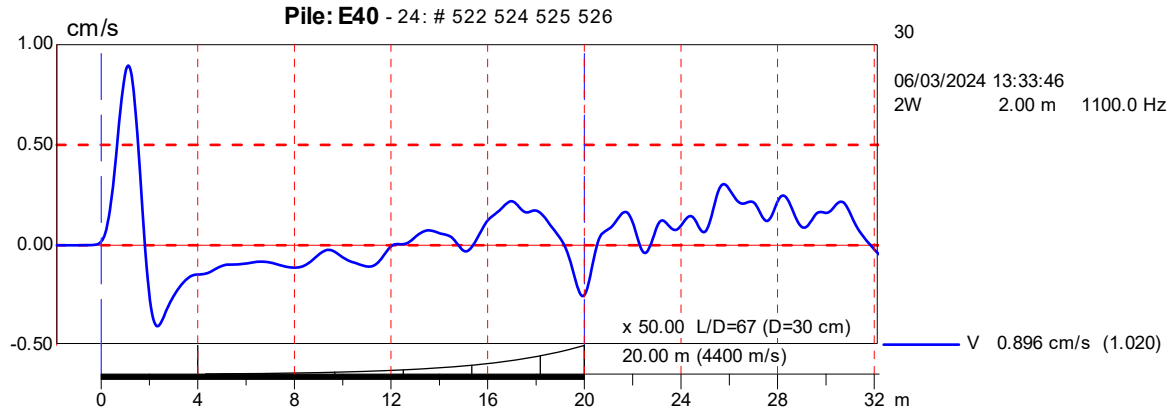
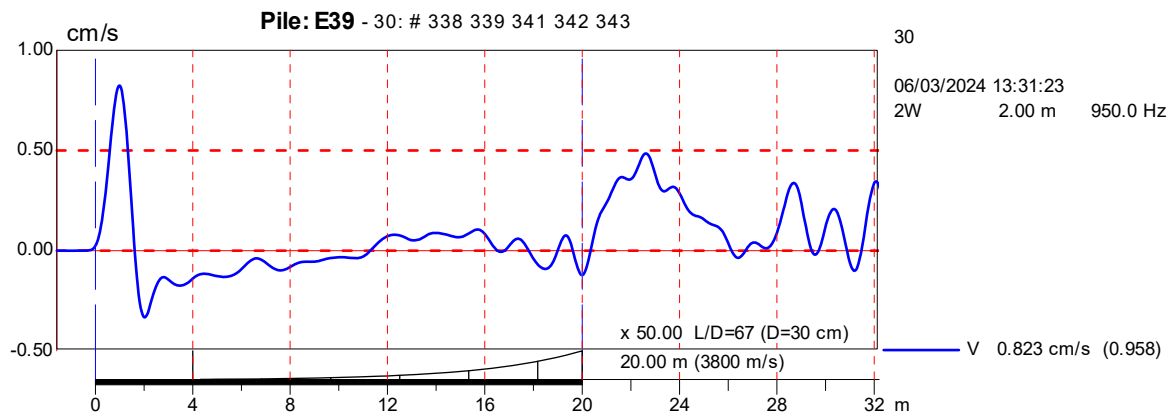
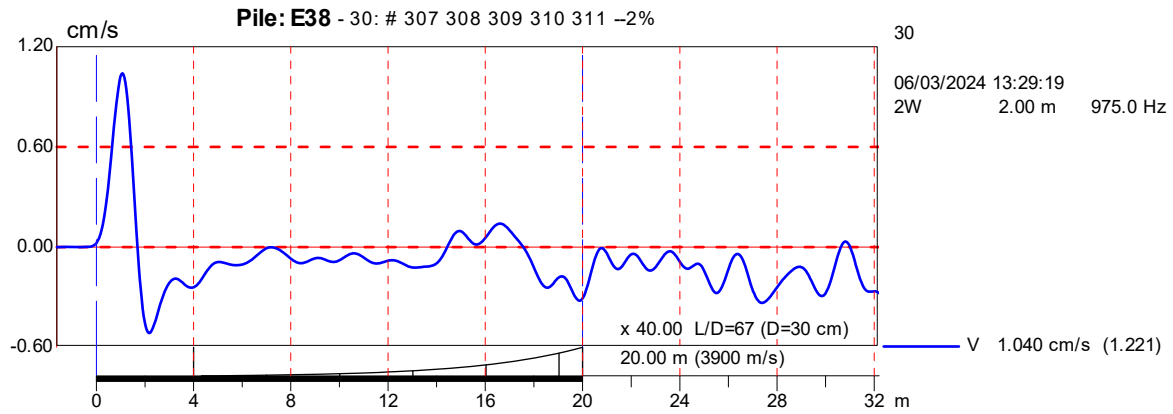


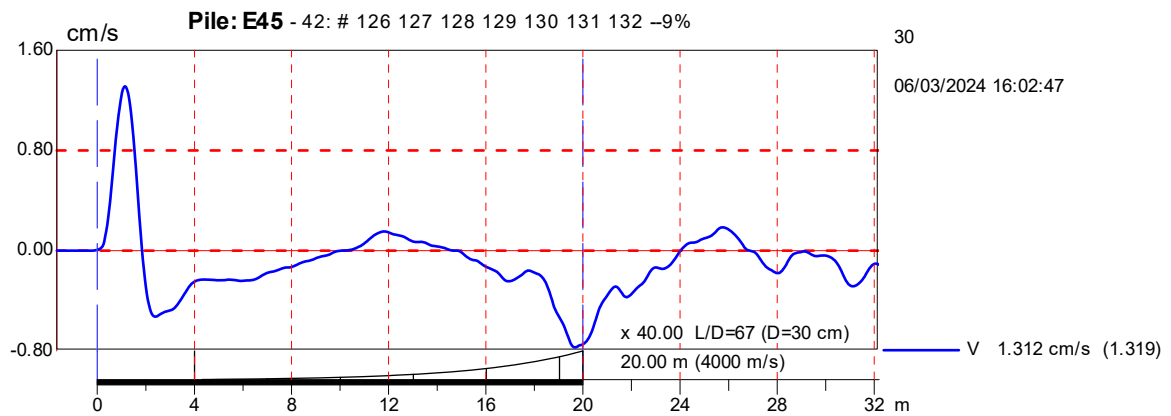
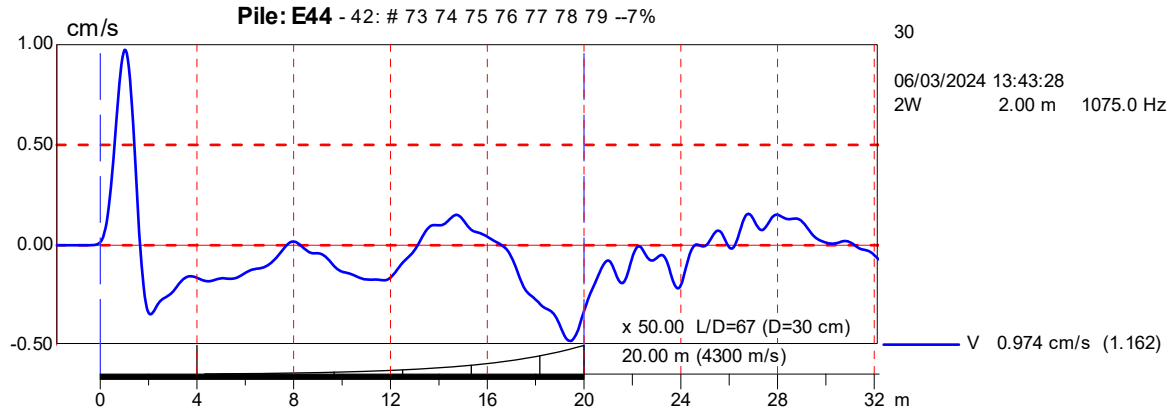
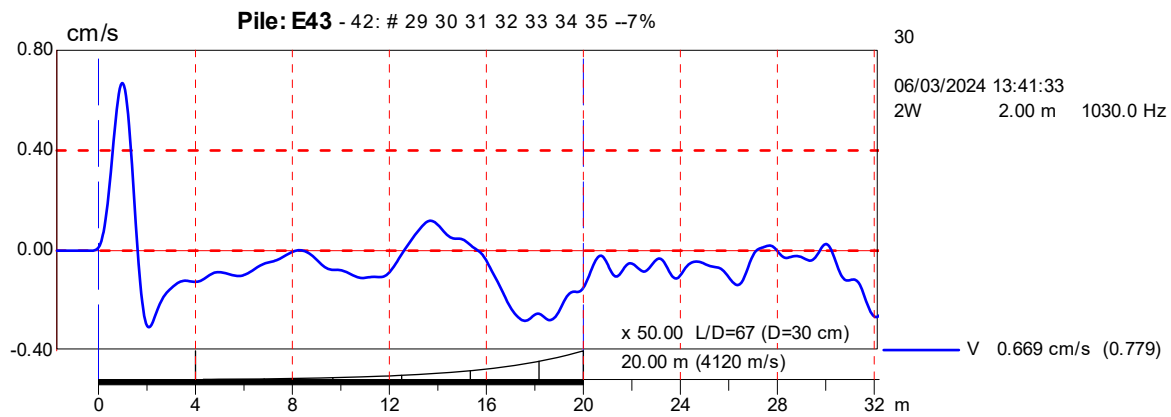
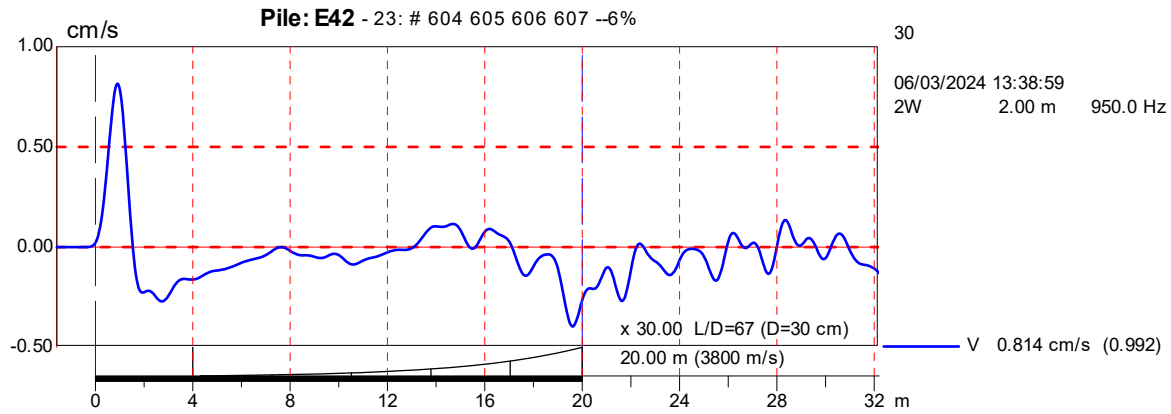


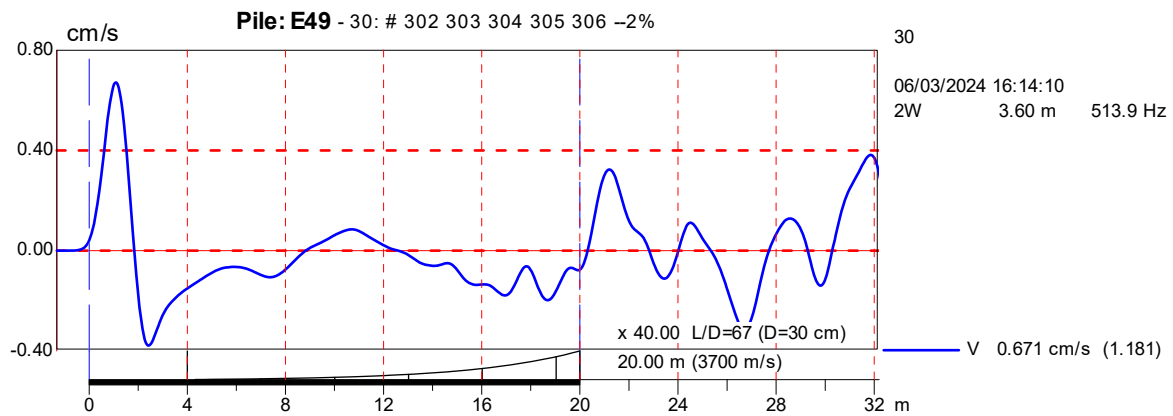
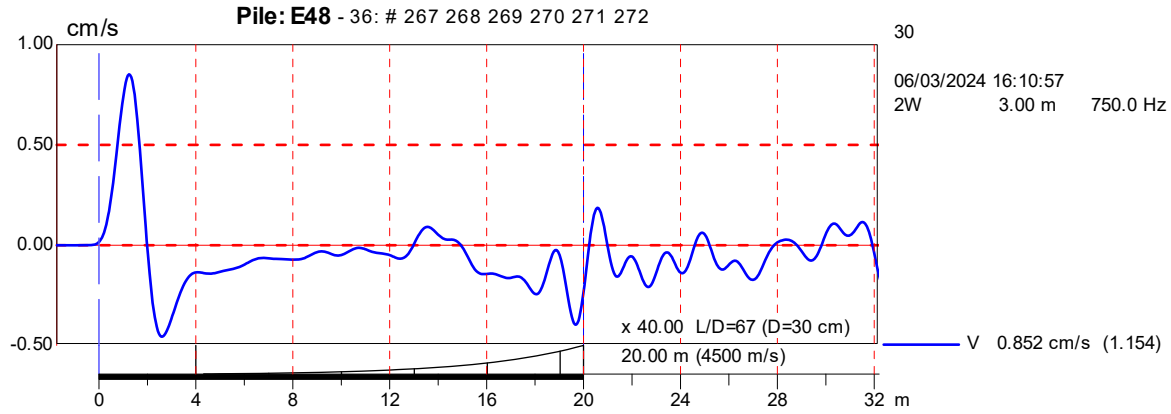
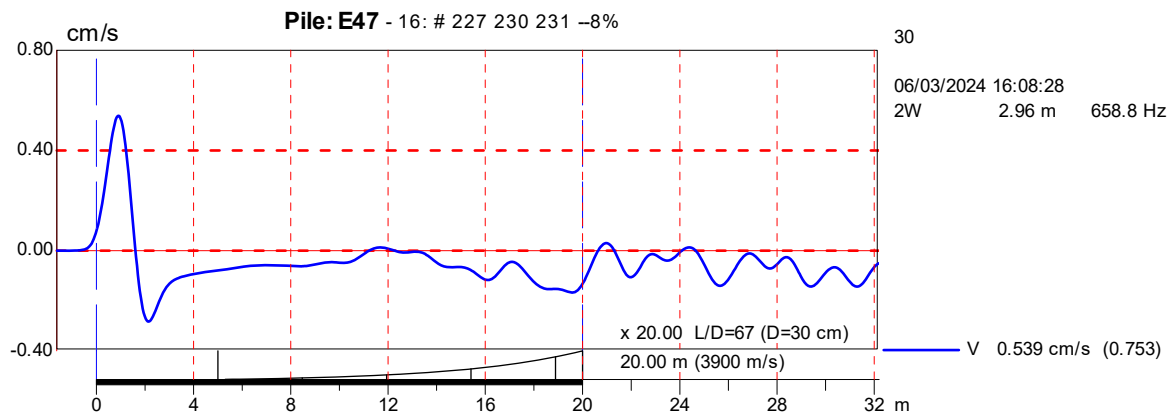
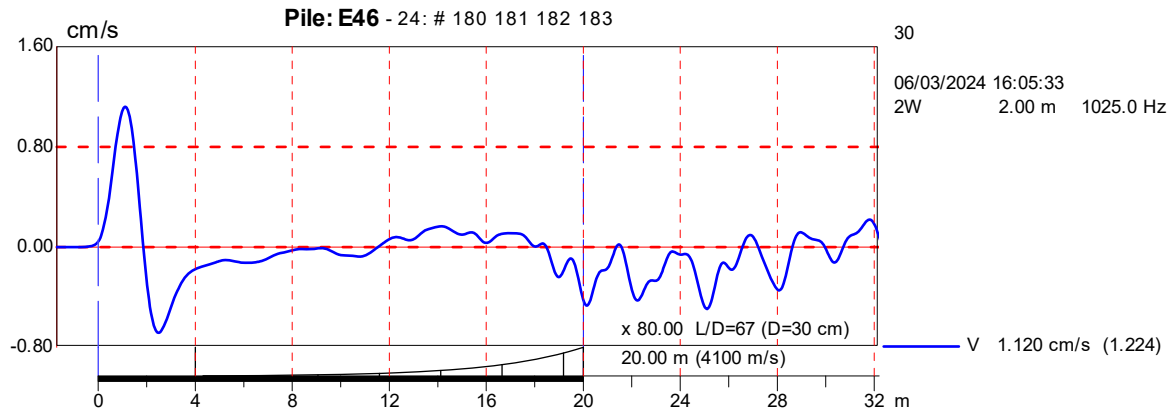


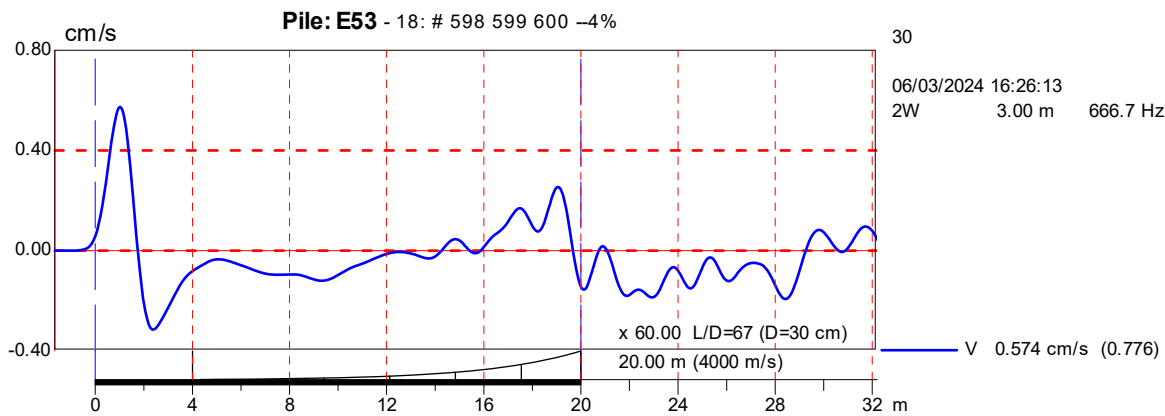
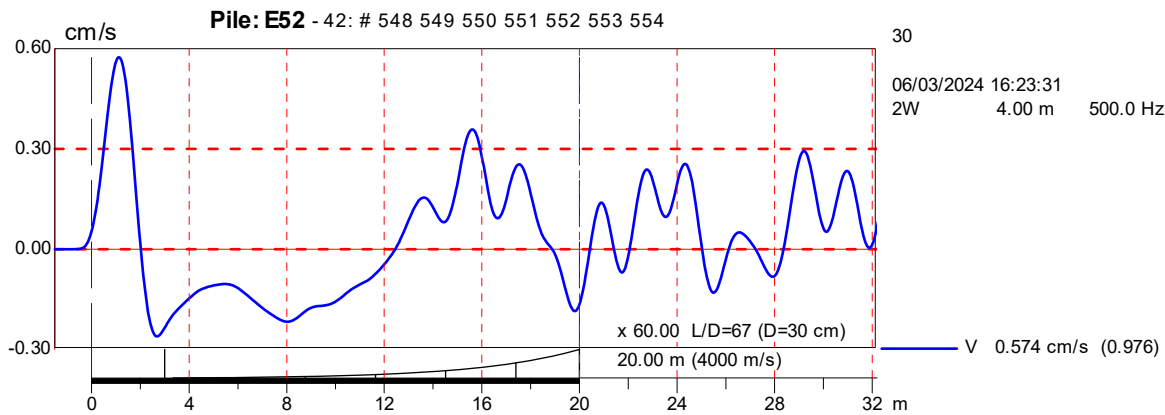
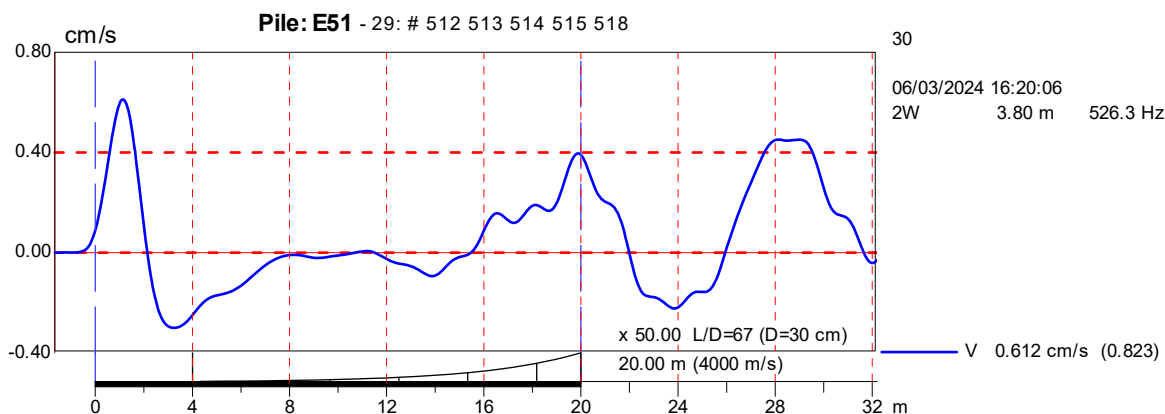
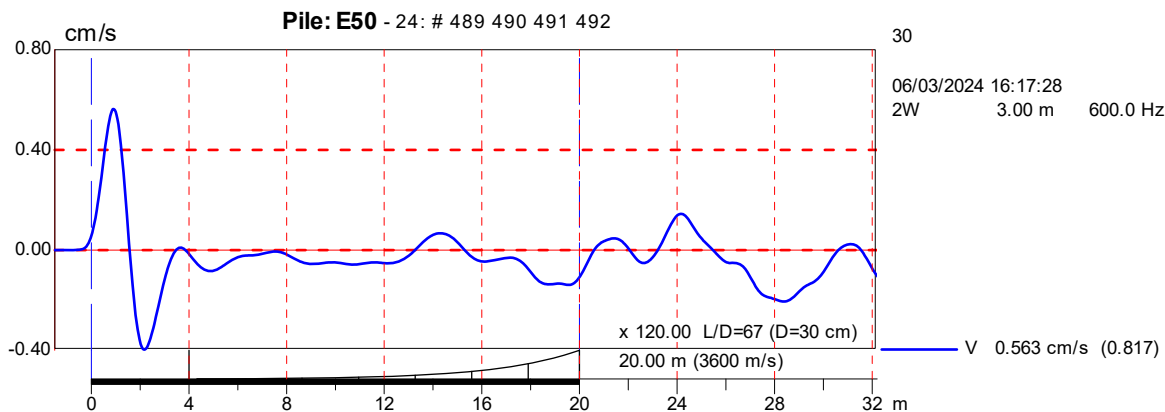


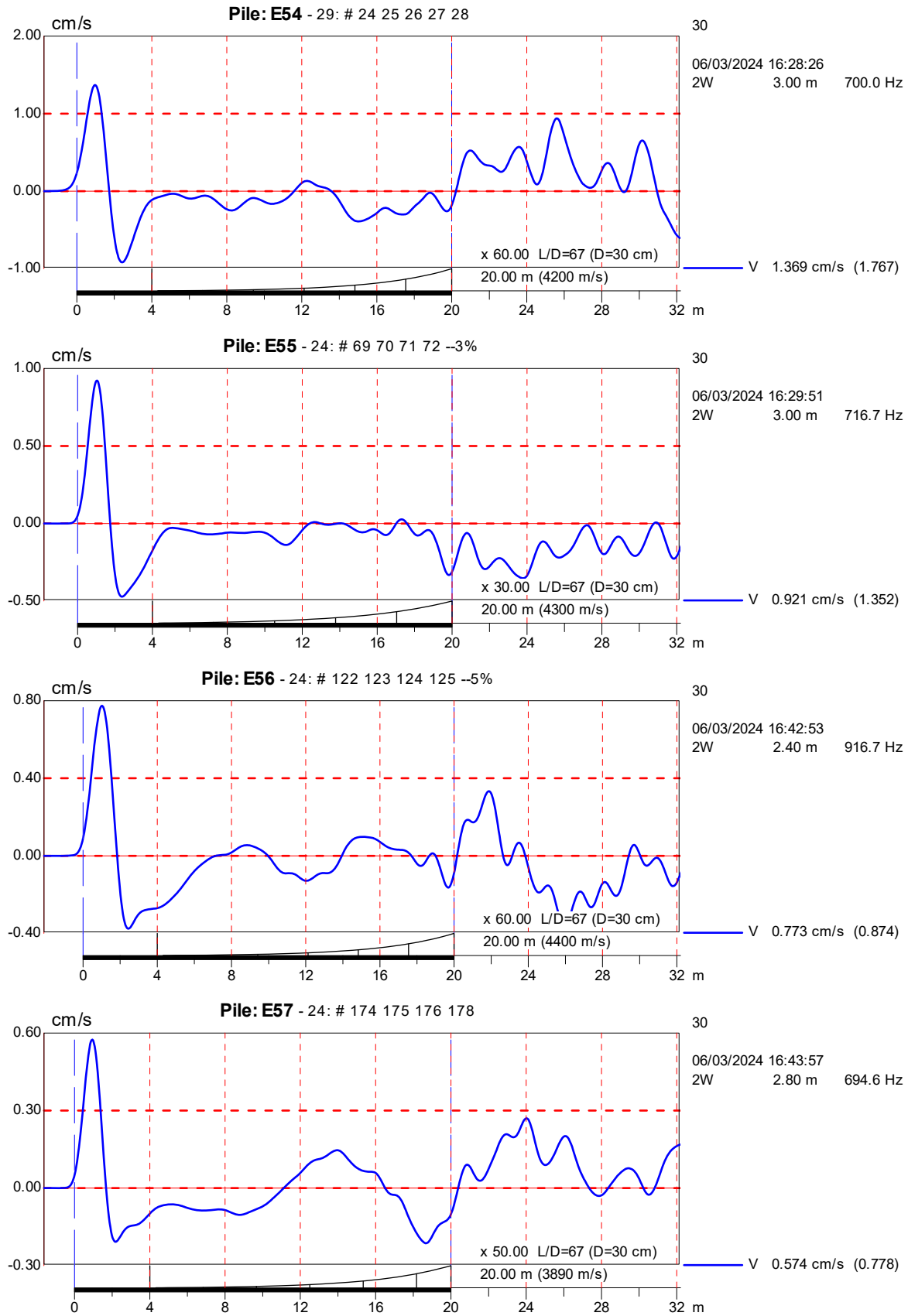


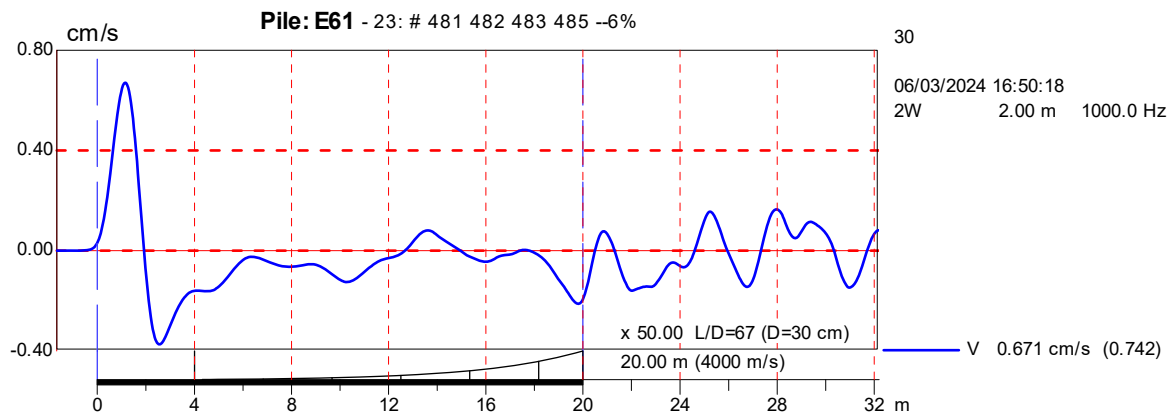
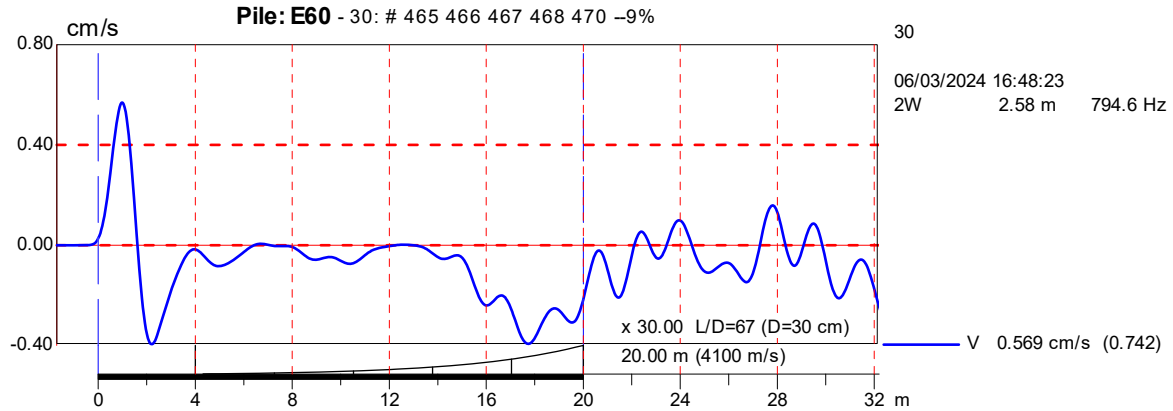
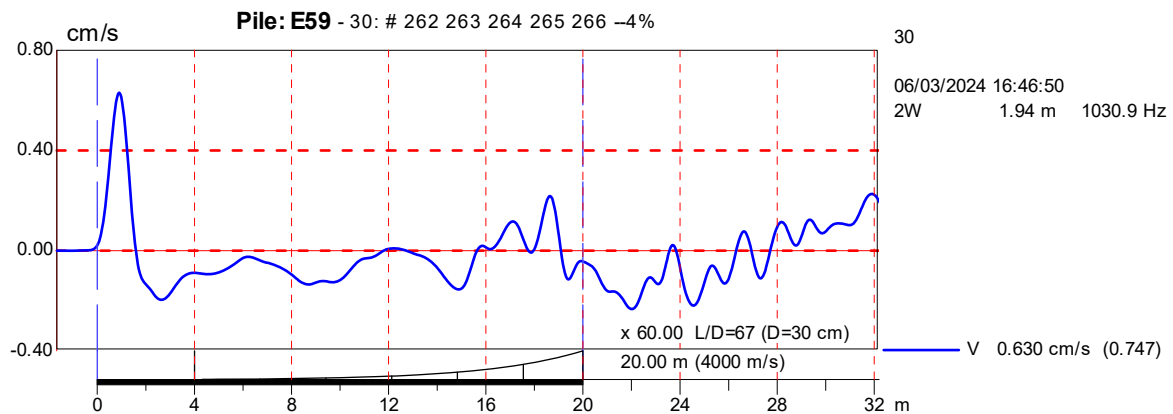
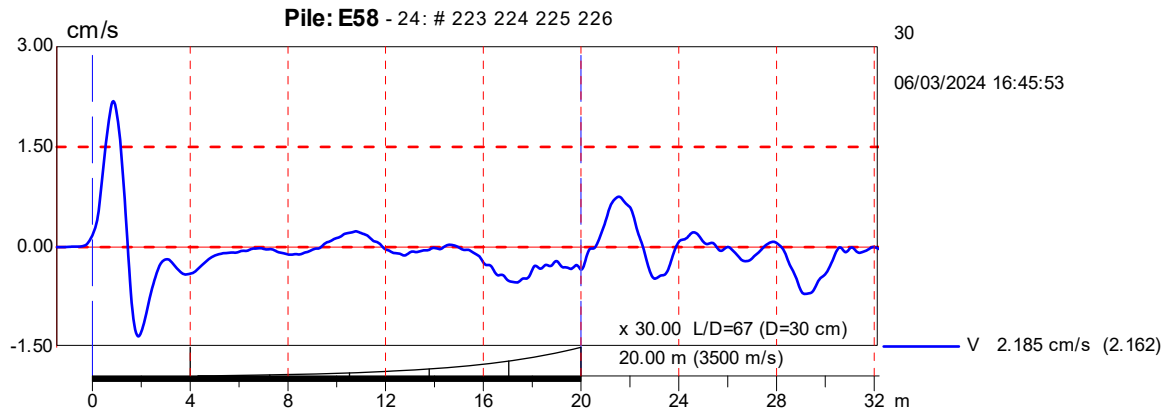


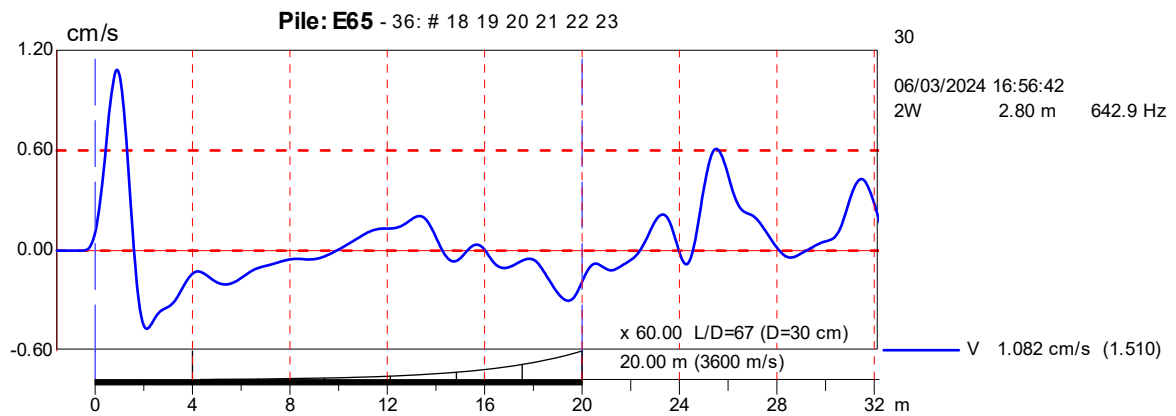
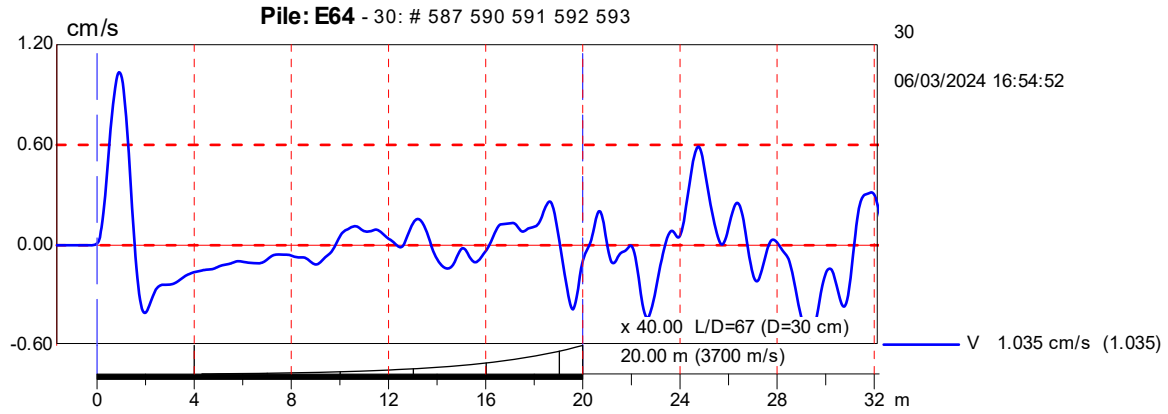
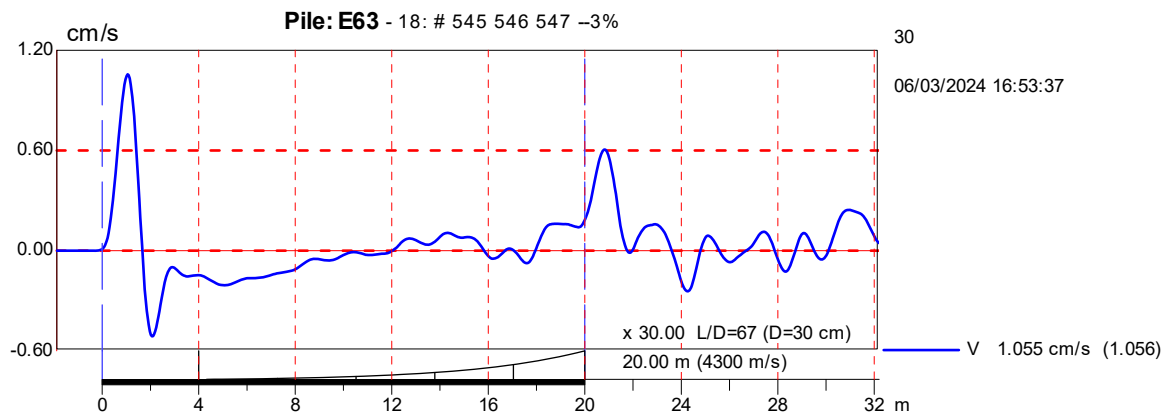
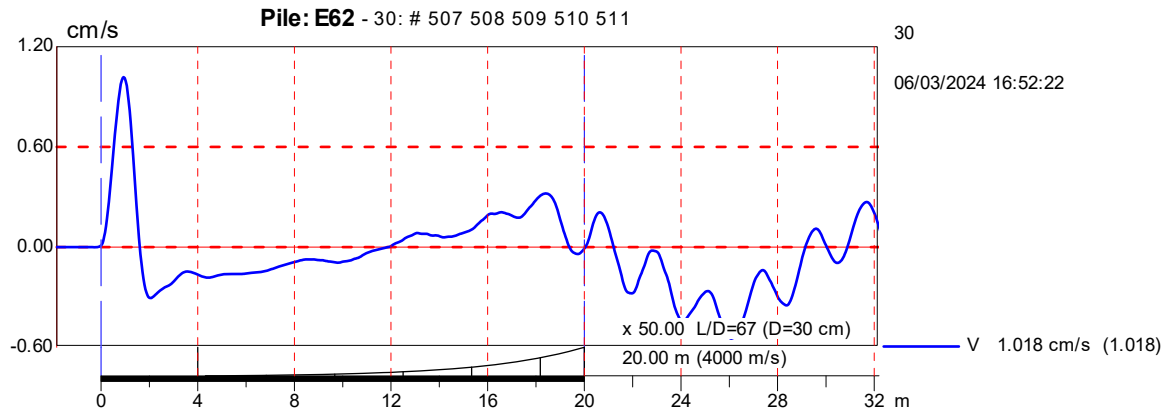


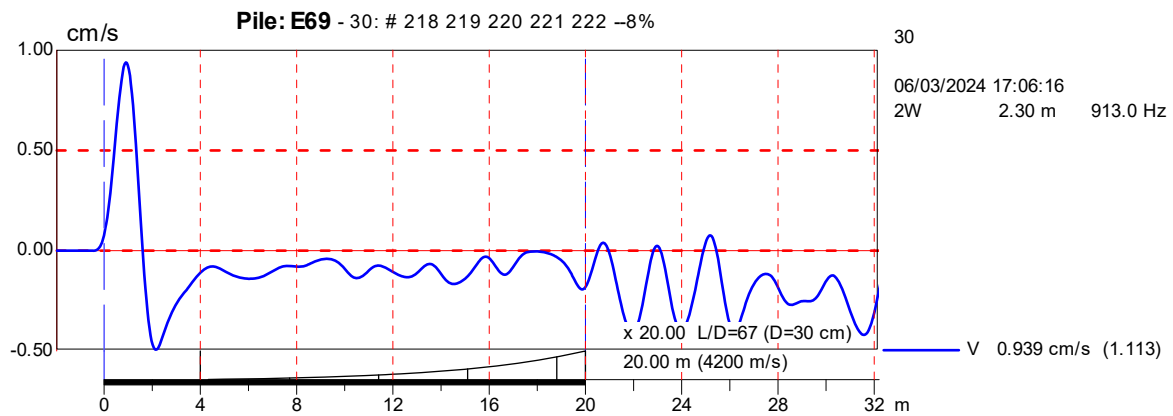
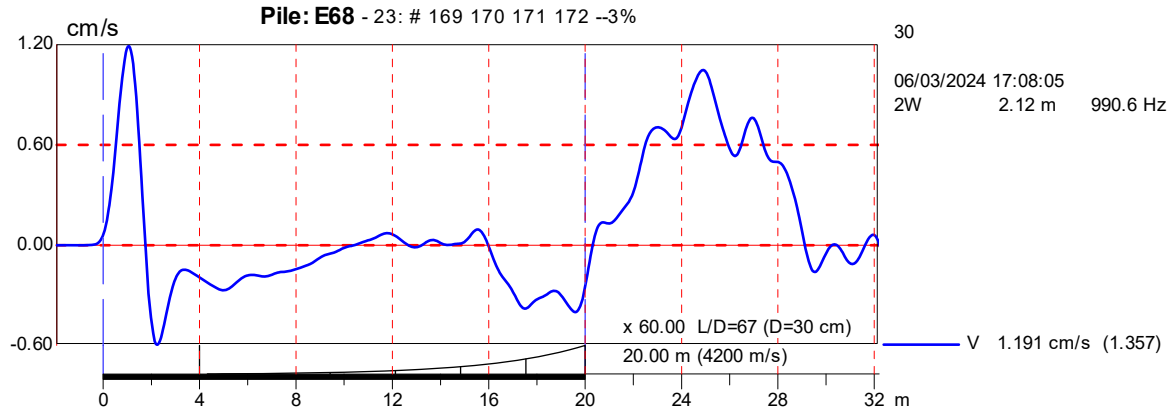
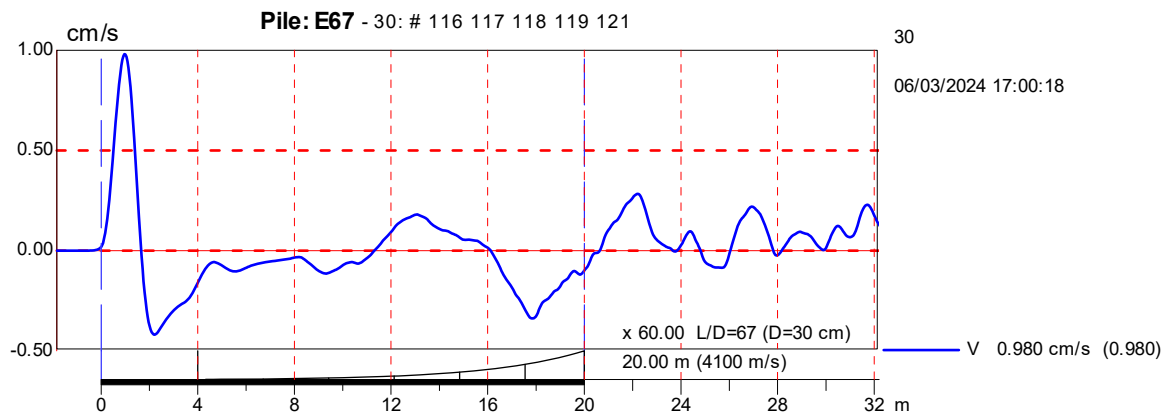
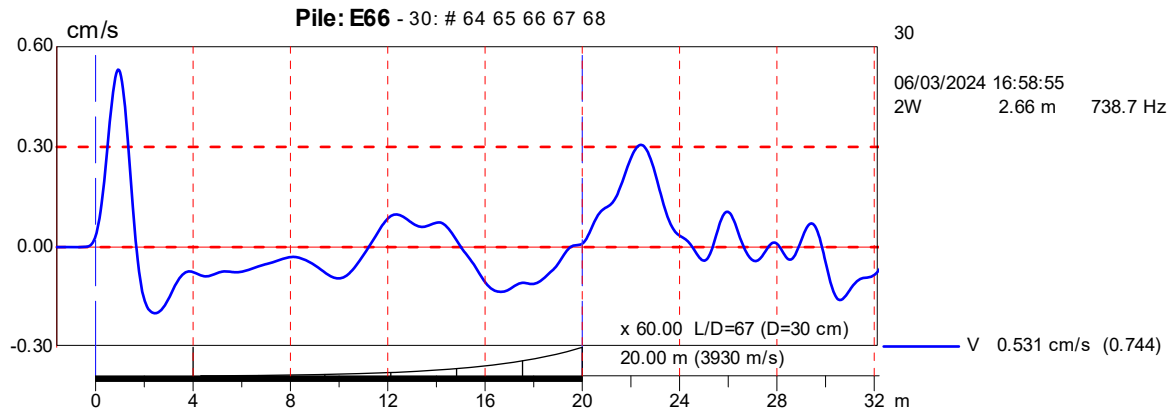


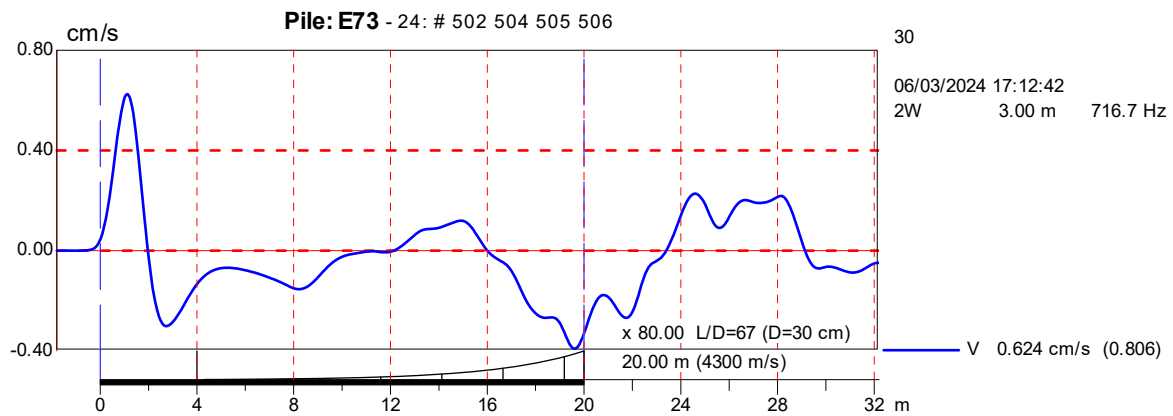
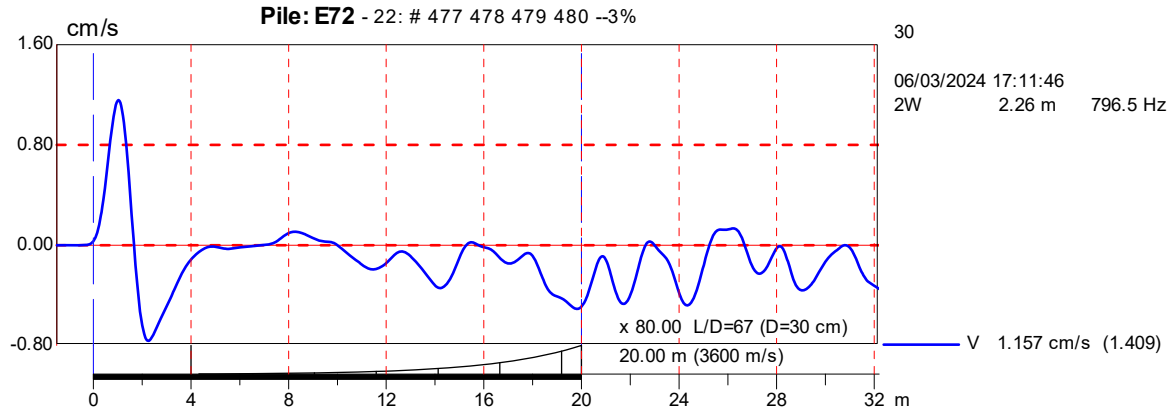
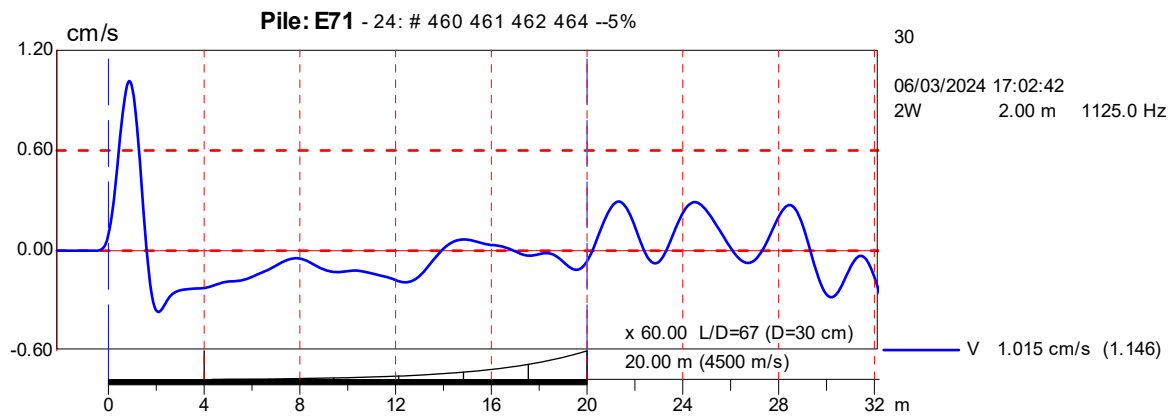
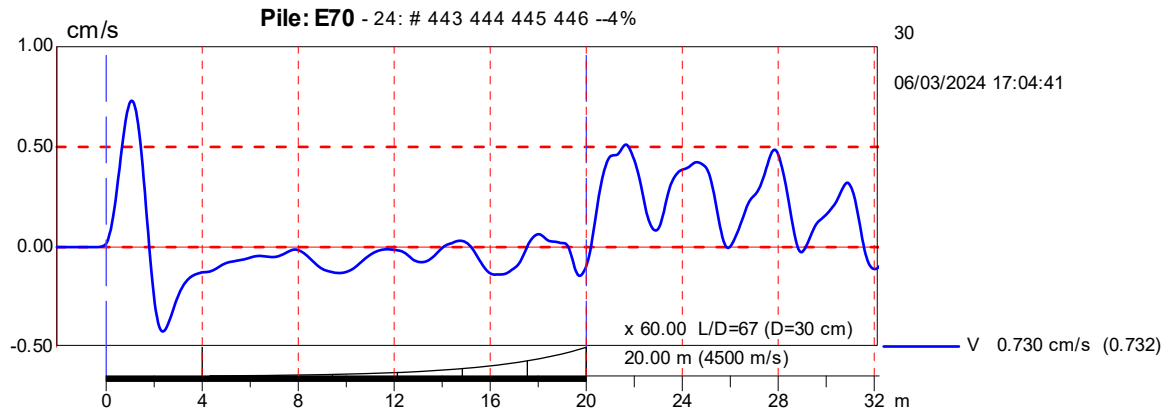


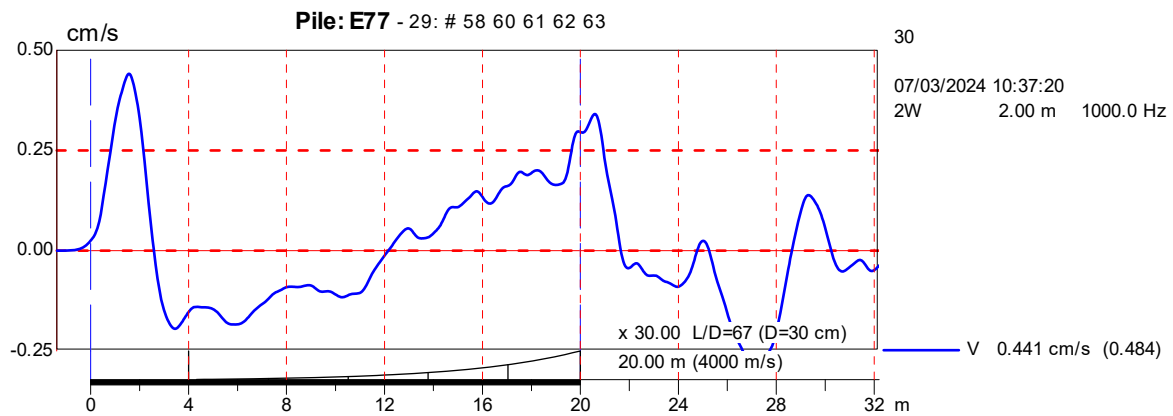
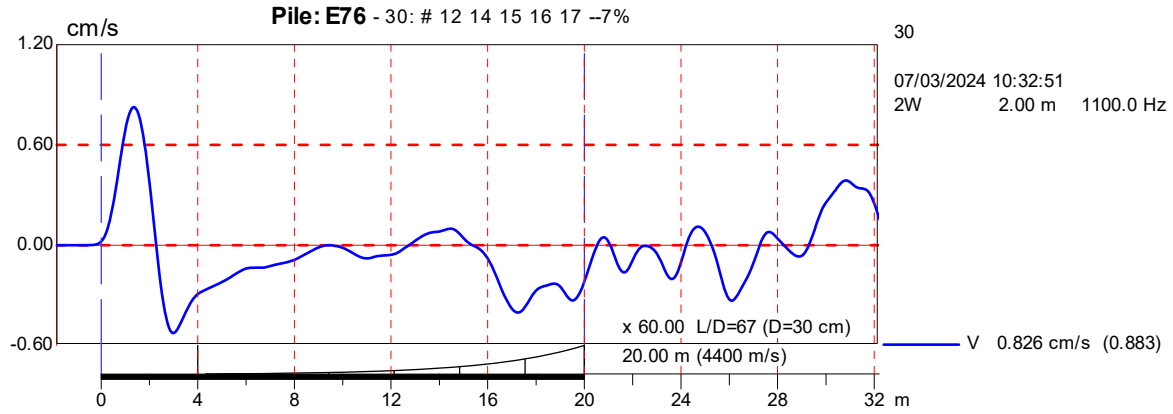
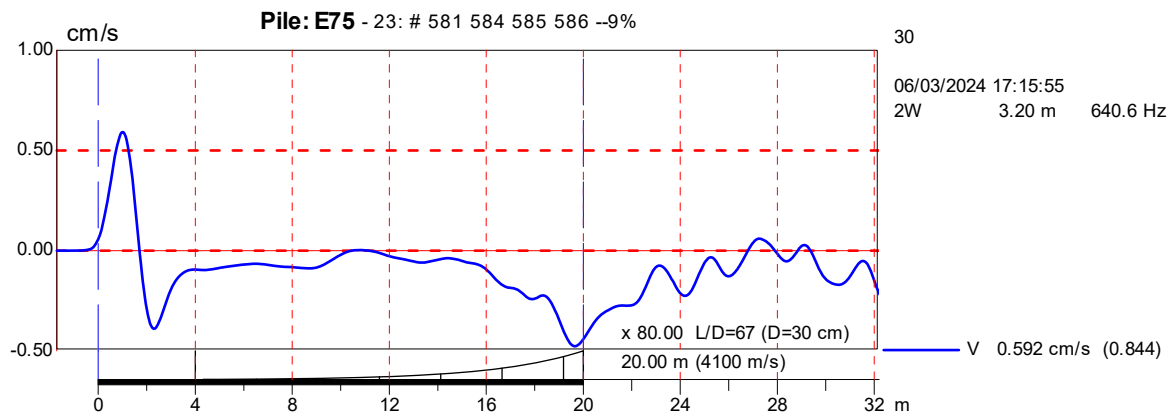
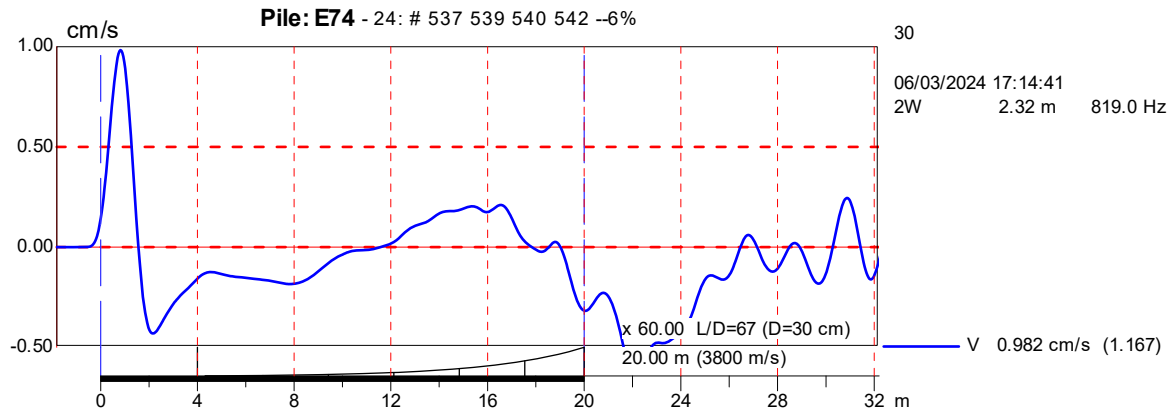


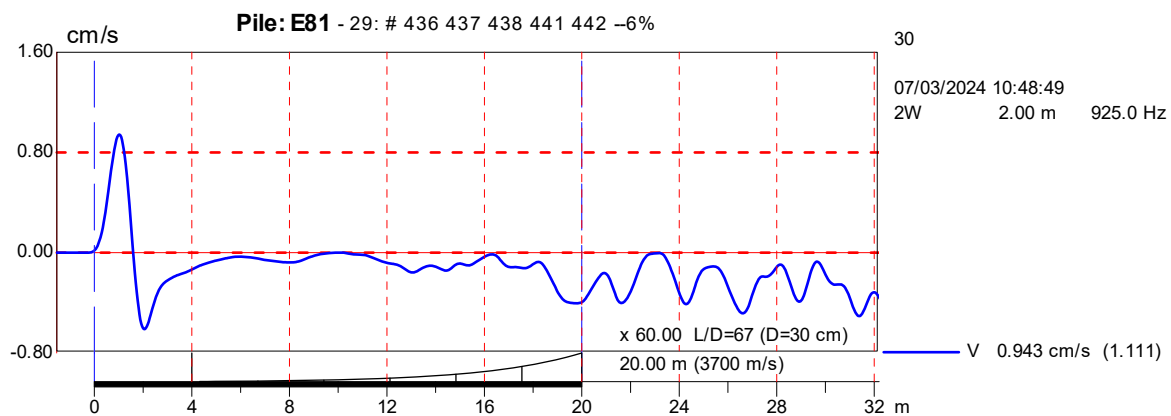
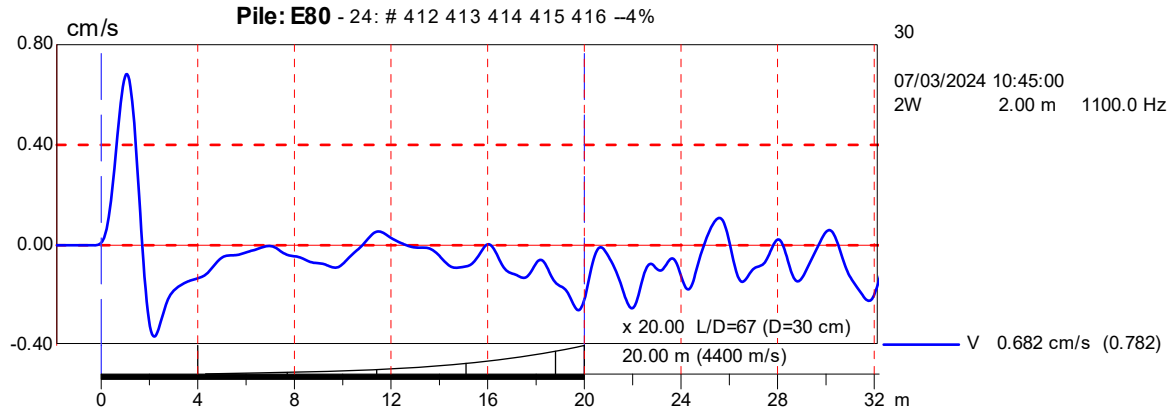
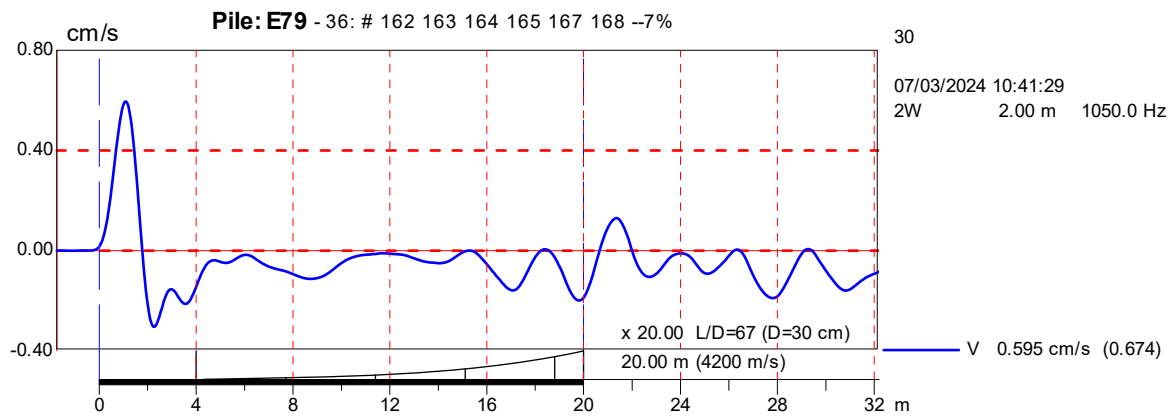
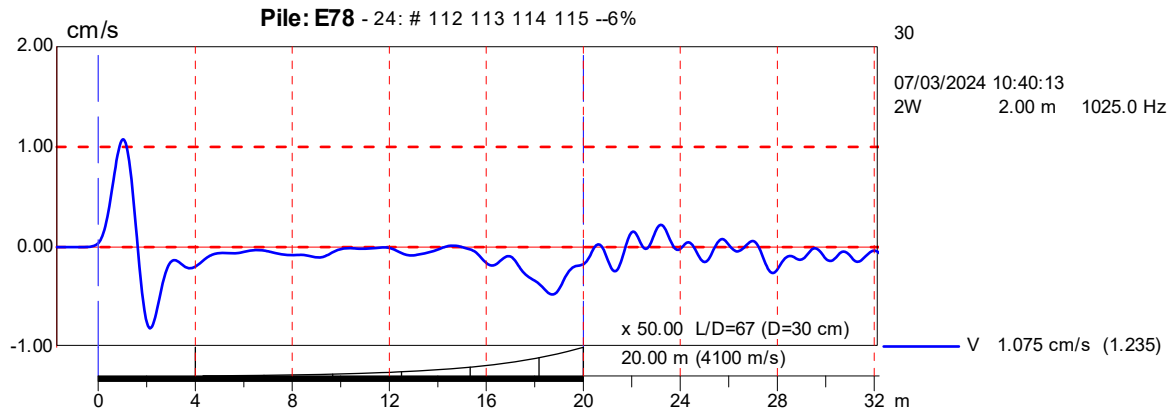


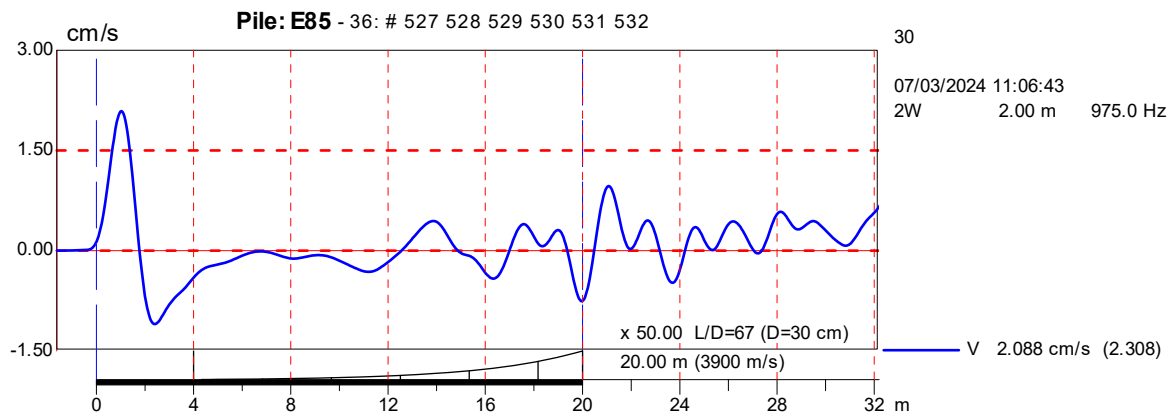
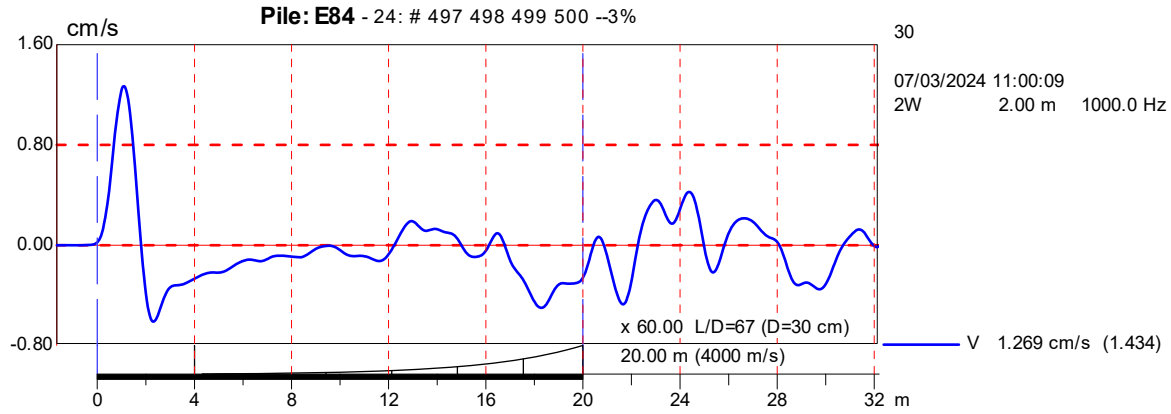
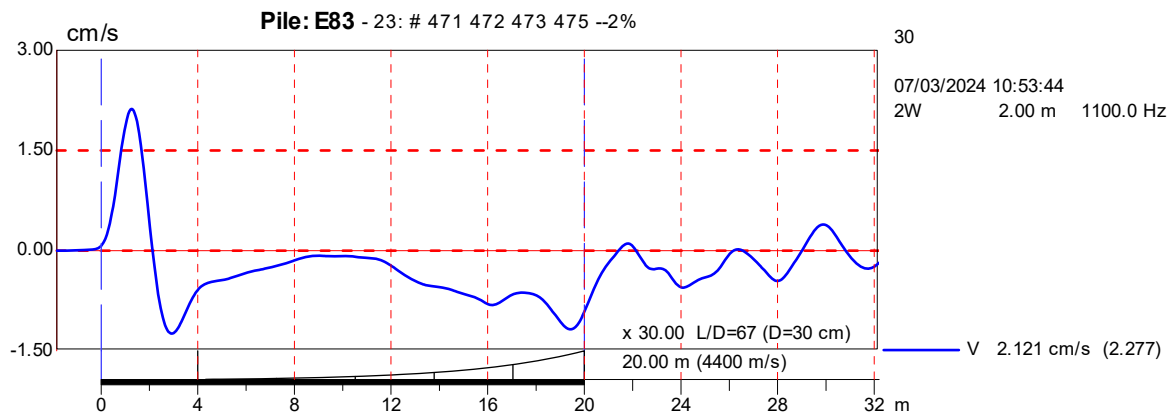
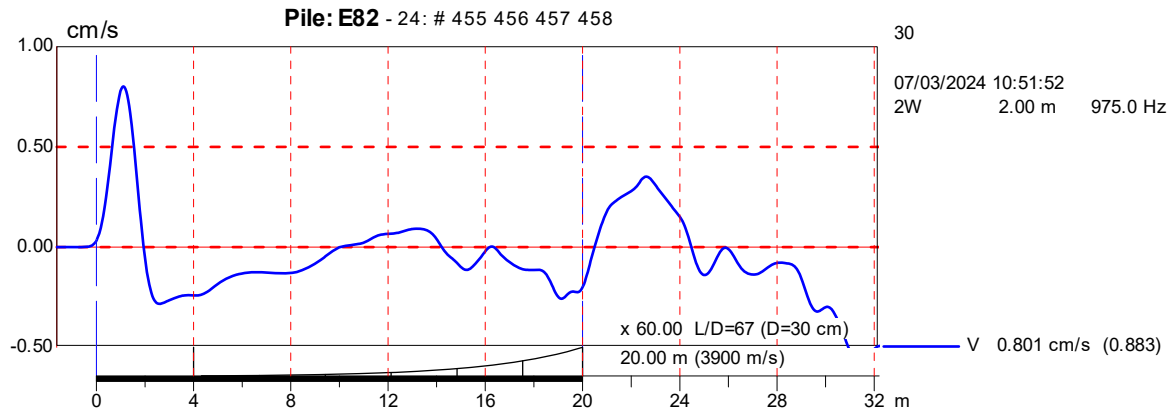


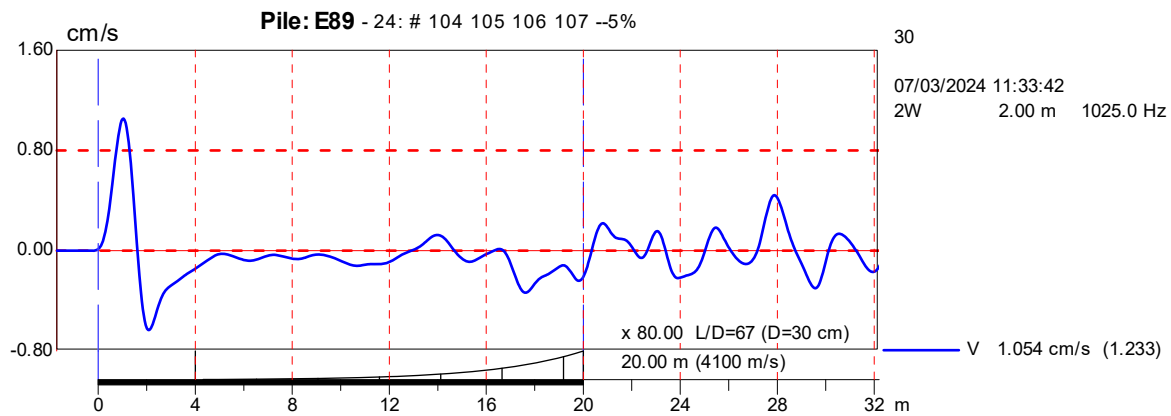
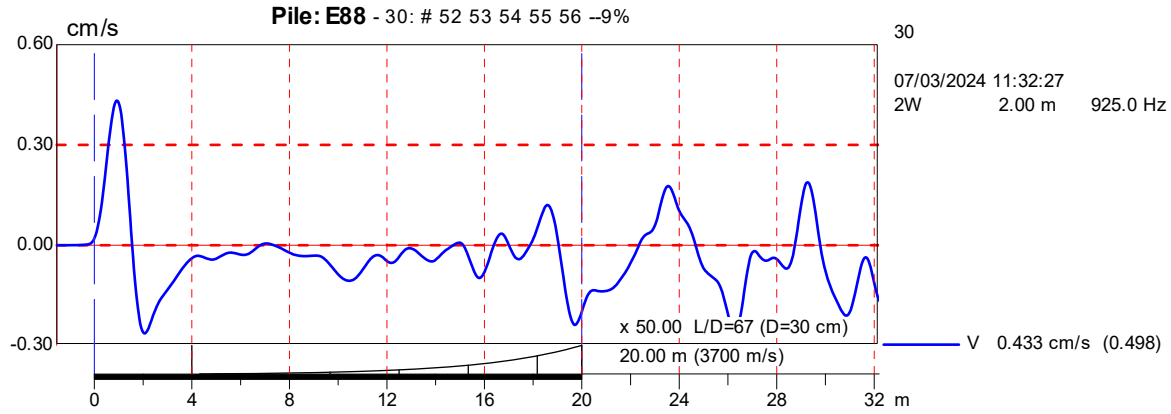
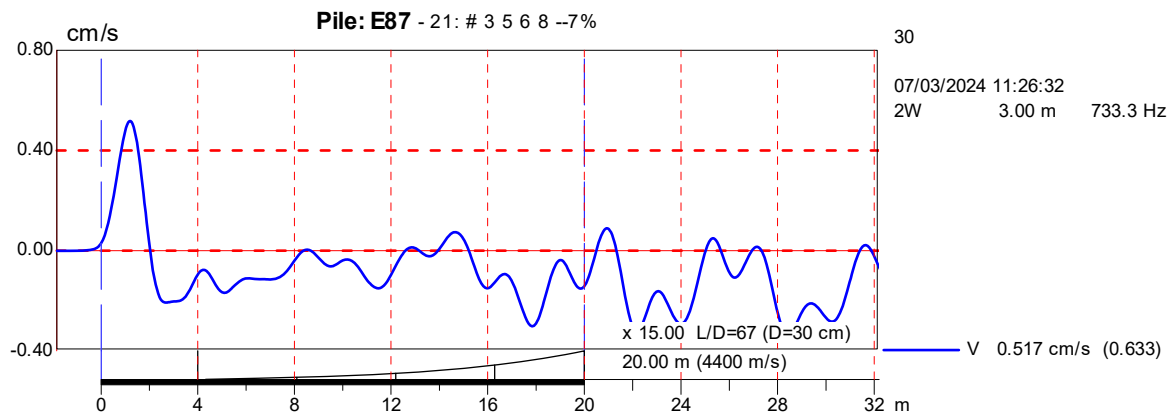
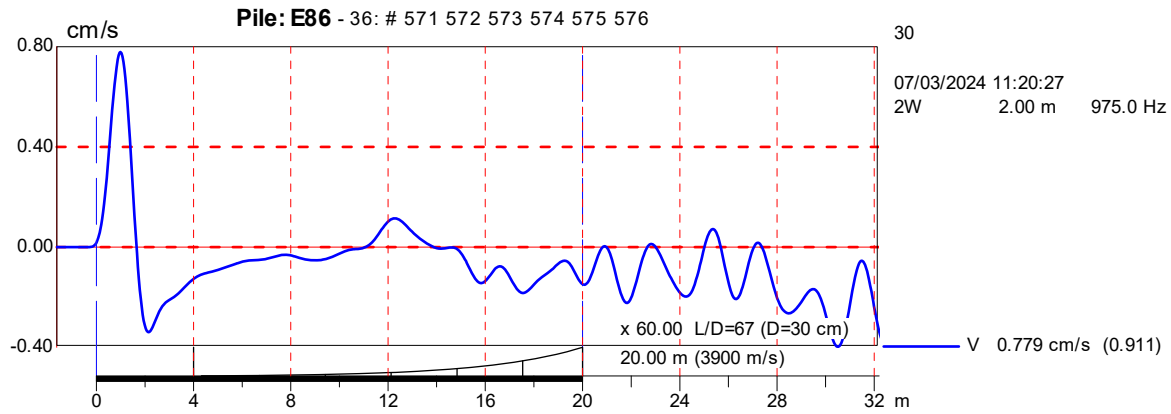


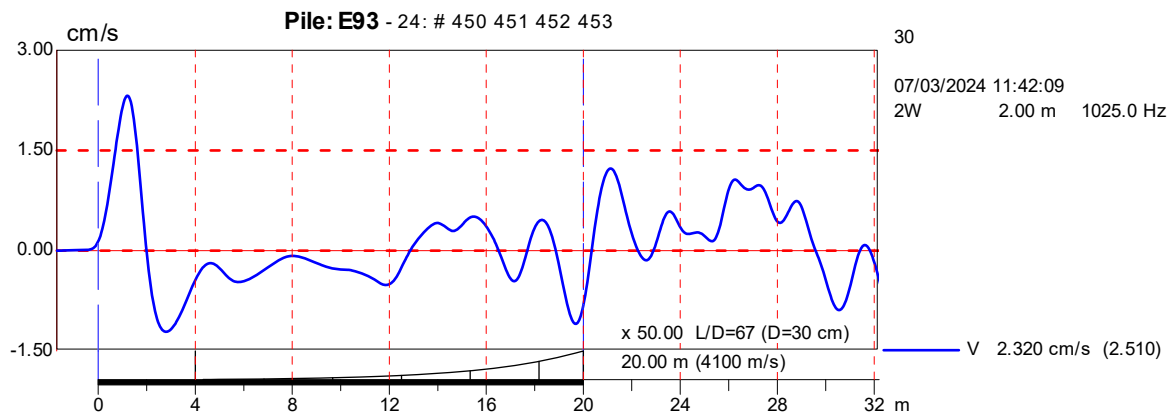
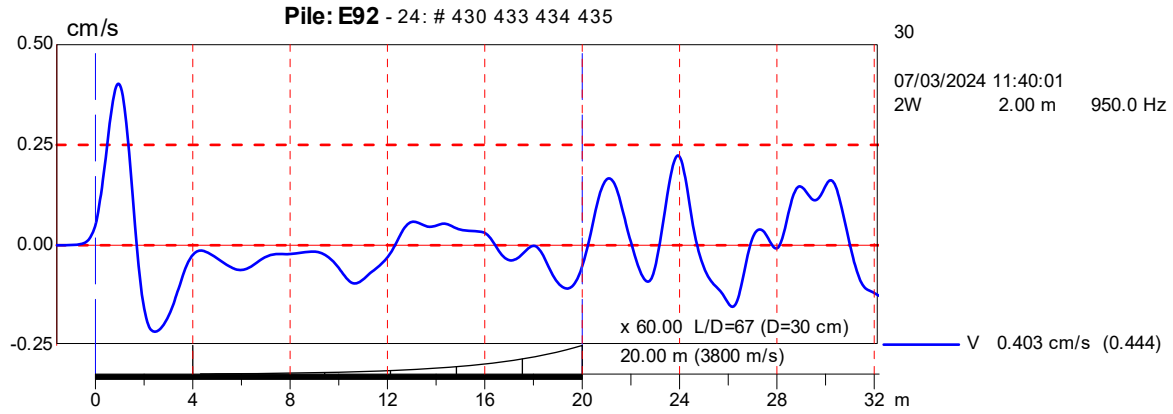
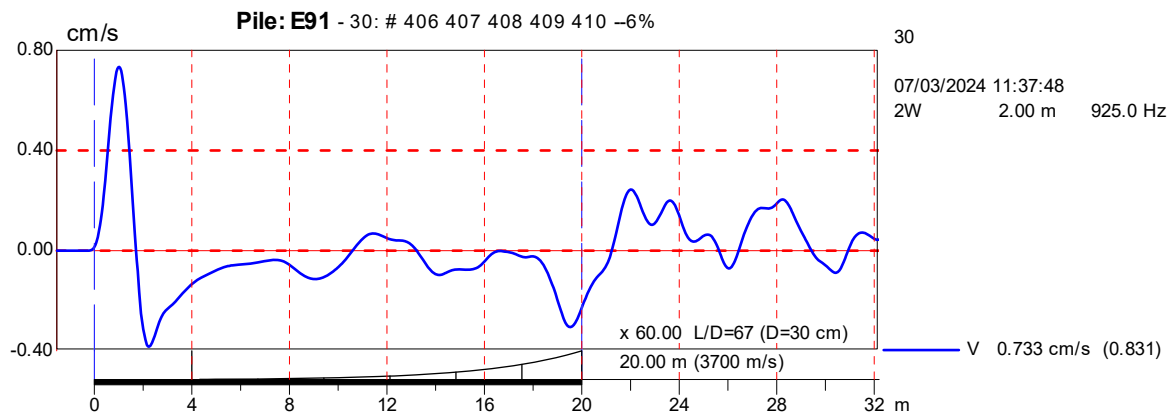
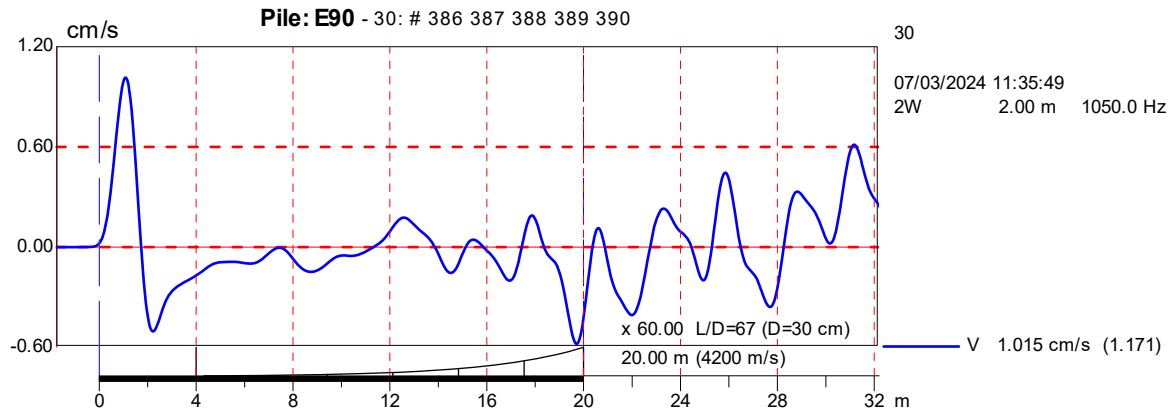












Summary of Records

Pile	Top Area cm ²	Pile Length m	Wave Speed m/s	Diameter cm	Comments
E01	706.90	20.00	4200.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 10 m
E02	706.90	20.00	3600.00		Estaca contínua com anomalia a 9 m
E03	706.90	20.00	335		Estaca contínua com anomalia a 12 m (WS baixa)
E04	706.90	20.00	4100.0		Estaca contínua com anomalias a 2, 10 e 15 m
E05	706.90	20.00	3800.00		Estaca contínua com anomalia a 15 m
E06	706.90	20.00	4100.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E07	706.90	20.00	3800.		Estaca contínua com anomalias a 11, 12 e 17 m
E08	706.90	20.00	4500.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E09	706.90	20.00	3800.00		Estaca contínua com anomalia a 11 m
E10	706.90	20.00	4100.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E11	706.90	20.00	4500.00		Estaca contínua com anomalias a 8 e 15 m
E12	706.90	20.00	4000.00	30	Estaca contínua até 17 m
E13	706.90	20.00	3600.0		Estaca contínua até 14 m com anomalia a 5 m
E14	706.90	Estaca contínua com anomalia a 4 e anomalia intensa a 13 m (WS baixa)			
E15	706.90	20.00	4200.00		Estaca contínua com anomalias a 6 e 13 m
E16	706.90	20.00	4000.0		Estaca contínua até 12 m com anomalia a 7 m
E17	706.90	20.00	3900.00	30	Estaca contínua até 11 m
E18	706.90	20.00	3840.00	30	Estaca contínua
E19	706.90	Estaca contínua com anomalia a 6 e anomalia intensa e externa a a 10 m			
E20	706.90	20.00	3900.00		Estaca contínua com anomalias a 4, 6 e 9 m
E22	706.90	20.00	4500.00		Estaca contínua com anomalia a 12 m
E23	706.90	20.00	4300.0		Estaca contínua com extensa anomalia a 12 m
E24	706.90	20.00	3600.		Estaca contínua com anomalias a 10, 13 e 15 m
E25	706.90	20.00	4210.00	30	Estaca contínua
E26	706.90	20.00	3730.00	30	Estaca contínua
E27	706.90	20.00	4500.00		Estaca contínua com anomalia a 11 m
E28	706.90	20.00	3800.00		Estaca contínua com anomalias a 12 e 16 m
E29	706.90	20.00	4100.00	30	Estaca contínua
E30	706.90	20.00	Estaca contínua com anomalia intensa e extensa a 13 m		
E31	706.90	20.00	3900.00		Estaca contínua com anomalia a 10 m
E32	706.90	20.00	3720.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E33	706.90	20.00	3900.0		Estaca contínua com anomalias a 13 e a 17 m
E34	706.90	20.00	3800.00		Estaca contínua com anomalia a 14 m
E35	706.90	20.00	3900.0		Estaca contínua com anomalias a 6, 12 e 14 m
E36	706.90	20.00	3600.00		Estaca contínua com anomalias a 12 a 15 m
E37	706.90	20.00	4000.00		Estaca contínua com anomalias a 13 e 15 m
E38	706.90	20.00	3900.00		Estaca contínua com anomalias a 14 e 16 m
E39	70	Estaca contínua com anomalia intensa e extensa a 11 e anomalias a 18 e 19 m			
E40	706.90	20.	Estaca contínua com anomalia a 13 e anomalia intensa a 15 m		
E41	706.90	20.00	4000.00		Estaca contínua com anomalias a 13 e 17 m
E42	706.90	20.00	3800.00		Estaca contínua com anomalias a 13 e 15 m
E43	706.90	20.00	4120.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E44	706.90	20.00	4300.0		Estaca contínua com anomalia intensa a 12 m
E45	706.90	20.00	4000.00		Estaca contínua com anomalia a 10 m
E46	706.90	20.00	4100.		Estaca contínua com anomalias a 11, 13 e 16 m
E47	706.90	20.00	3900.00	30	Estaca contínua
E48	706.90	20.00	4500.00		Estaca contínua com anomalia a 12 m
E49	706.90	20.00	3700.00		Estaca contínua com anomalia a 8 m
E50	706.90	20.00	3600.00		Estaca contínua com anomalia a 12 m
E51	706.90	20.00	4000.00	30	Estaca contínua até 15 m
E52	706.90	20.00	4000.		Estaca contínua até 14 m com anomalia a 12 m
E53	706.90	20.00	Estaca contínua até 18 m com anomalias a 14 e 16 m		

Summary of Records

Pile	Top Area	Pile Length	Wave Speed	Diameter	Comments
E54	706.90	20.00	4200.00	Estaca contínua com anomalia a 11 m	
E55	706.90	20.00	4300.00	Estaca contínua com anomalia a 17 m	
E56	706.90	20.00	4400.00	Estaca contínua com anomalias a 8 e 13 m	
E57	706.90	20.00	3890.00	Estaca contínua com anomalia intensa a 10 m	
E58	706.90	20.00	3500.00	Estaca contínua com anomalia a 9 m	
E59	706.90	20.00	4000.00	Estaca contínua até 18 m com anomalia a 16 m	
E60	706.90	20.00	4100.00	30 Estaca contínua	
E61	706.90	20.00	4000.00	Estaca contínua com anomalia a 12 m	
E62	706.90	20.00	Estaca contínua com fuste afunilado a partir de 11 m		
E63	706.90	20.00	4300.00	Estaca contínua com anomalias a 12 e 18 m	
E64	706.90	20.00	371	Estaca contínua com anomalias a 9, 12, 16 e 18 m	
E65	706.90	20.00	Estaca contínua com anomalia intensa a 9 e anomalia a 15 m		
E66	706.90	20.00	3930.00	Estaca contínua com anomalias a 10 e 13 m	
E67	706.90	20.00	4100.00	Estaca contínua com anomalia a 11 m	
E68	706.90	20.00	4200.00	Estaca contínua com anomalias a 10 e 15 m	
E69	706.90	20.00	4200.00	30 Estaca contínua	
E70	706.90	20.00	4500.00	Estaca contínua com anomalias a 13 e 17 m	
E71	706.90	20.00	4500.00	Estaca contínua com anomalia a 13 m	
E72	706.90	20.00	3600.00	Estaca contínua com anomalia a 7 m	
E73	706.90	20.00	4300.00	Estaca contínua com anomalia a 12 m	
E74	706.90	20.00	Estaca contínua com fuste afunilado a partir de 12 m		
E75	706.90	20.00	4100.00	30 Estaca contínua	
E76	706.90	20.00	4400.00	Estaca contínua com anomalia a 12 m	
E77	706.90	20.00	4000.00	30 Estaca contínua até 11 m	
E78	706.90	20.00	4100.00	30 Estaca contínua	
E79	706.90	20.00	4200.00	30 Estaca contínua	
E80	706.90	20.00	4400.00	Estaca contínua com anomalia a 10 m	
E81	706.90	20.00	3700.00	30 Estaca contínua	
E82	706.90	20.00	3900.00	Estaca contínua com anomalia a 10 m	
E83	706.90	20.00	4400.00	30 Estaca contínua	
E84	706.90	20.00	4000.00	Estaca contínua com anomalias a 12 e 16 m	
E85	706.90	20.00	3900	Estaca contínua com anomalias a 12, 17 e 19 m	
E86	706.90	20.00	3900.00	Estaca contínua com anomalia a 11 m	
E87	706.90	20.00	4400.00	Estaca contínua com anomalia a 14 m	
E88	706.90	20.00	3700.00	Estaca contínua com anomalias a 16 e 18 m	
E89	706.90	20.00	4100.00	Estaca contínua com anomalia a 12 m	
E90	706.90	20.00	4200	Estaca contínua com anomalias a 11, 15 e 17 m	
E91	706.90	20.00	3700.00	Estaca contínua com anomalia a 10 m	
E92	706.90	20.00	3800.00	Estaca contínua com anomalia a 12 m	
E93	706.90	20.00	4100	Estaca contínua com anomalias a 12, 15 e 17 m	

ANEXO C

Equipamentos e Métodos Empregados

Ensaio de Integridade de Baixa Deformação de Estacas (PIT)

Descrição e procedimento de ensaio

1. Escopo

- 1.1. Este documento descreve o método de ensaio de elementos de fundação profunda conhecido como Ensaio de Integridade de Baixa Deformação (“*Low Strain Integrity Testing*”) ou Método Sônico (“*Sonic Method*”) ou PIT (“*Pile Integrity Test*”).
- 1.2. Este método é usado para obter informações sobre a continuidade, a consistência dos materiais usados e as dimensões físicas de estacas, e não para obter informações diretas sobre o desempenho das mesmas sob condições de carregamento. Este método é usualmente aplicado a tubulões ou estacas de concreto, estas últimas moldadas *in loco* ou pré-moldadas preferencialmente sem emendas.
- 1.3. Há duas variações do ensaio:
 - 1.3.1. O método pulso-eco (“*pulse echo method*”), em que é medida e avaliada a evolução com o tempo da velocidade da cabeça e às vezes também da força aplicada pelo martelo.
 - 1.3.2. O método de resposta transiente (“*transient response method*”), em que a transformada de Fourier da relação entre o sinal de velocidade e o sinal de força é avaliada em relação à frequência.

2. Descrição

- 2.1. O ensaio é baseado nas reflexões da onda de tensão, causadas pela variação na *impedância* da estaca, definida pela expressão abaixo:

$$Z = \frac{EA}{c} = A\sqrt{E\rho}$$

onde Z é a impedância, E é o módulo de elasticidade dinâmico do material, A é a área de seção, c é a velocidade de propagação da onda e ρ é a densidade de massa do material da estaca

- 2.2. A onda de tensão é induzida na estaca por meio do impacto de um martelo de mão. O impacto é aplicado axialmente à estaca, preferencialmente no seu topo. O martelo tem uma ponta de plástico duro, de forma a induzir um pulso de força de pequena duração sem causar dano à estaca no local do impacto.
- 2.3. O sinal de velocidade é obtido por meio de um acelerômetro colocado no topo da estaca, com seu eixo sensível paralelo ao eixo da mesma. O acelerômetro é fixado ao topo por meio de um material de ligação temporária, como cera ou vaselina. O sinal do acelerômetro é enviado a uma unidade eletrônica, onde é integrado para obtenção da velocidade em função do tempo.
- 2.4. O sinal de força (opcional) é obtido por meio de um acelerômetro colocado no martelo. O sinal deste acelerômetro é enviado à unidade eletrônica, onde é multiplicado pela massa do martelo para obtenção da força aplicada em função do tempo. O uso do sinal de força combinado com o de velocidade no método pulso-eco fornece informações adicionais sobre a integridade da estaca perto da cabeça. O uso do sinal de força é obrigatório para o método de resposta transiente.
- 2.5. De modo a minimizar o registro de ruídos randômicos, analisa-se o sinal obtido através da média dos sinais de diversos golpes. O número de sinais incluídos na média pode ser variado pelo operador, sendo sugerido situar-se entre quatro e seis.

3. Características do equipamento

- 3.1. Para aplicação da força de impacto é utilizado um martelo de mão capaz de produzir um pulso com menos de 1 ms de duração, sem causar qualquer dano no local do impacto, o qual deve ser aplicado alinhado com o eixo da estaca.
- 3.2. Para obtenção do sinal de velocidade é usado um ou mais acelerômetros, cujos sinais são integrados para obtenção da velocidade. Os acelerômetros usados têm resposta linear até pelo menos 200 g. São usadas unidades CA, com constante de tempo de pelo menos 1 s e frequência de ressonância de pelo menos 30000 Hz. Os transdutores são calibrados para uma precisão de 5% dentro da escala de medição aplicável. De acordo com a especificação do fabricante a validade dos certificados de calibração será de dois anos, exceto se for usado apenas o método pulso-eco sem sinal de força, caso em que os certificados terão prazo de validade indeterminado.
- 3.3. Para obtenção do sinal de força (opcional) é usado um acelerômetro firmemente instalado no martelo, e a aceleração medida é convertida para força mediante multiplicação pela massa do martelo. O martelo é sintonizado de modo que a transformada de Fourier do sinal de força tenha um espectro linear, sem picos localizados. Para o martelo instrumentado valem as mesmas regras quanto à precisão e aos certificados de calibração mencionadas em 3.2.
- 3.4. A transmissão dos sinais entre os transdutores de velocidade e força e a unidade eletrônica é feita através de cabo blindado de baixo ruído.
- 3.5. A unidade eletrônica possui os seguintes requisitos mínimos:
 - 3.5.1. Capacidade de exibição permanente da evolução de cada um dos sinais de velocidade e força em relação ao tempo. Os sinais poderão ter duração total de 2 ms a 30 ms.
 - 3.5.2. Capacidade de exibição do sinal médio de velocidade e força, com indicação clara do instante de início do golpe e do tempo $2L/c$ (duas vezes o comprimento da estaca dividido pela velocidade de onda).
 - 3.5.3. Capacidade de aplicar uma amplificação de intensidade crescente ao sinal médio de velocidade, com máximo na região de $2L/c$, necessária para facilitar a análise de sinais atenuados pelas reflexões causadas pelo atrito lateral, pelo amortecimento no material da estaca, etc.
 - 3.5.4. Capacidade de aplicar ao sinal médio de velocidade filtro passa alta e/ou passa baixa com frequências de corte variáveis.
 - 3.5.5. Capacidade de aplicar uma aceleração constante ao sinal médio de velocidade, provocando assim um giro do mesmo em torno do ponto de origem (pivot).
 - 3.5.6. Capacidade de armazenamento temporário dos sinais de velocidade e força, e de transferi-los para um meio de armazenamento permanente.
 - 3.5.7. Capacidade de armazenamento da quantidade de sinais incluídos na média, quando os sinais individuais não são armazenados.
 - 3.5.8. Conversor analógico - digital com pelo menos 12 bits de resolução.
 - 3.5.9. Resposta de frequência do sistema de até pelo menos 15000 Hz (-3 db).
 - 3.5.10. Circuitos de condicionamento de velocidade e força com mesma resposta de frequência, para evitar desvios de fase e diferenças de amplitude entre os sinais.
 - 3.5.11. Para atender ao item 3.5.9 acima, a frequência de amostragem é de pelo menos 30000 Hz para cada um dos canais de velocidade e força.
 - 3.5.12. Uniformidade e precisão da frequência de amostragem mantida dentro de 0,01%.
 - 3.5.13. Capacidade de armazenamento de dados como número da estaca, descrição, parâmetros de processamento dos sinais e data/hora do registro.
 - 3.5.14. Capacidade de balanceamento dos sinais a zero entre os impactos.
 - 3.5.15. Capacidade de imprimir a média de todos os sinais de velocidade e força armazenados para cada uma das estacas ensaiadas (esta função poderá ser realizada por programa de computador externo à unidade eletrônica).

3.5.16. Capacidade de rejeição automática de sinais com características notavelmente anômalas.

4. Procedimento

- 4.1. O ensaio deverá ser realizado após a cura do material. Deve-se ter em mente que a cura não se dá uniformemente ao longo de toda a estaca, o que pode produzir variações de impedância que serão detectadas pelo ensaio. Em caso de dúvida, o ensaio deverá ser repetido após decorridos mais alguns dias, para comparação dos resultados.
- 4.2. Para realização do ensaio, a superfície do topo da estaca deverá estar nivelada, lisa, limpa e seca. No caso de estacas pré-moldadas que já tenham sido arrasadas, ou cujos topos tenham sido danificados durante a cravação, ou no caso de estacas moldadas *in loco*, será necessário efetuar um preparo prévio, da seguinte forma:
 - 4.2.1. A estaca deverá ser arrasada para eliminação de todo o material contaminado, ou com sinais de quebra ou fissuras. Sugere-se que o arrasamento seja feito até a cota de projeto, apesar de este não ser um requerimento do ensaio. O procedimento adotado pelo arrasamento deverá assegurar a não ocorrência de trincas ou fissuras no material da estaca a ser ensaiada.
 - 4.2.2. O topo da estaca deverá ser nivelado, e uma superfície lisa deverá ser obtida com o emprego de lixadeira elétrica munida de disco de desbaste. Nenhum material tal como argamassa, “grout”, etc. poderá ser usado para obtenção desta superfície lisa, a qual deverá cobrir o máximo possível da superfície total do topo da estaca. Como mínimo, poderá ser usada uma superfície que permita a colocação do sensor e aplicação dos golpes, localizada no centro do topo da estaca. Para estacas com diâmetros maiores que 500 mm, o preparo deverá permitir a colocação do acelerômetro também em outras posições, além do centro da estaca.
 - 4.2.3. Todo corpo estranho que esteja em contato com a estaca ou que interfira com a realização do ensaio deverá ser removido, como ferragem, tubulação, etc. A estaca deverá estar isolada do concreto magro da base do bloco, se for o caso. A ferragem de espera não precisará ser removida, desde que não impeça o preparo e a realização do ensaio.
 - 4.2.4. Se o topo da estaca não estiver acessível, como no caso em que a mesma já está integrada à estrutura, é possível prender o acelerômetro no fuste da estaca, ou colocá-lo em uma cavidade especialmente feita na lateral da estaca. Neste caso, é importante assegurar que o acelerômetro seja instalado com seu eixo sensível paralelo ao eixo da estaca. O registro do sinal de força não será possível nestes casos, o que dificultará o diagnóstico de eventuais falhas que ocorram próximas do local onde foi instalado o acelerômetro. Na análise dos sinais obtidos desta maneira deve-se levar em conta também a ocorrência de reflexões secundárias provocadas pela estrutura, que podem dificultar o diagnóstico.
- 4.3. O ensaio de cada estaca envolve os seguintes passos:
 - 4.3.1. Entrada dos seguintes dados na unidade eletrônica:
 - 4.3.1.1. Constante de calibração do acelerômetro (poderá ser usado um valor genérico se for utilizado o método pulso-eco sem sinal de força).
 - 4.3.1.2. Constante de calibração e peso do martelo instrumentado (se o sinal de força também estiver sendo usado).
 - 4.3.1.3. Área medida do topo da estaca (se o sinal de força também estiver sendo usado).
 - 4.3.1.4. Comprimento da estaca entre o local onde foi instalado o acelerômetro e a ponta.
 - 4.3.1.5. Velocidade de propagação da onda (se não for conhecida com antecedência, pode ser usado o valor padrão de 4000 m/s).
 - 4.3.1.6. Número da estaca no projeto.

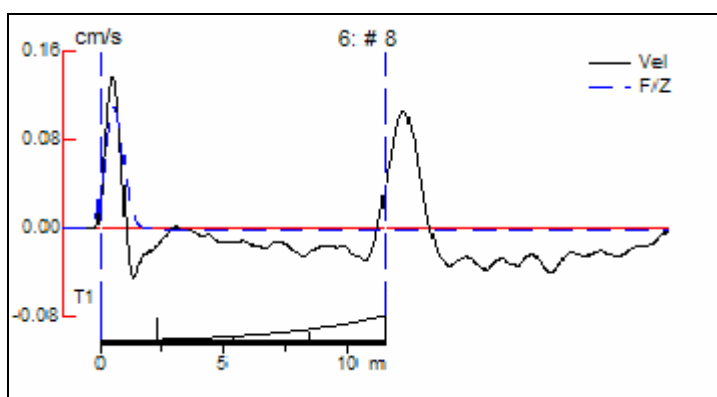
- 4.3.1.7. Outros dados, como nome da obra, descrição etc.
- 4.3.2. Colocação do acelerômetro no local adequado, conforme descrito no item 4.2.2 ou 4.2.4 acima. O acelerômetro é fixado com uma camada fina de uma substância adequada, geralmente cera de petróleo ou vaselina (esta última para temperaturas ambiente abaixo de 10°C). O acelerômetro deve manter-se firme no lugar após liberado.
- 4.3.3. Aplicação de diversos golpes, até que o número desejado de golpes seja registrado. Os golpes devem ser aplicados a uma distância não maior que 300 mm do acelerômetro. Sinais com padrão diferente dos demais deverão ser excluídos da média. Os indicadores de intensidade dos sinais deverão estar dentro dos limites recomendados.
- 4.3.4. Obtenção e exibição do sinal médio.
- 4.3.5. Repetição dos itens 4.3.3 e 4.3.4 acima pelo menos uma vez para cada estaca. Para estacas com diâmetro maior que 500 mm, o acelerômetro deverá ser instalado em pelo menos três posições diferentes.

5. Análise dos sinais

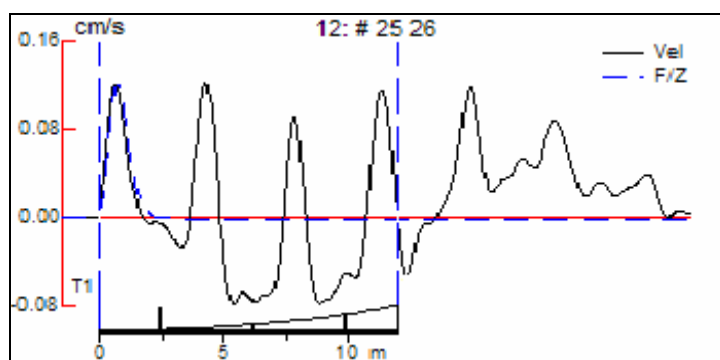
- 5.1. A análise pelo método pulso-eco é baseada nos efeitos nos sinais de velocidade e força das reflexões causadas por variações de impedância. Reflexões no sinal de velocidade, com a mesma direção do pulso inicial, ocorrendo antes da reflexão de ponta, são indicativas de redução de impedância. Reflexões com sentido oposto ao do pulso inicial são indicativas de aumento de impedância. A distância entre o sensor e o local da variação de impedância pode ser estimada a partir da determinação do tempo decorrido entre o impacto e o início da reflexão referente à variação de impedância, assumindo-se que a velocidade de propagação da onda no material da estaca é conhecida. A distância d , o tempo t e a velocidade de propagação da onda c são relacionados conforme a expressão abaixo:

$$d = \frac{tc}{2}$$

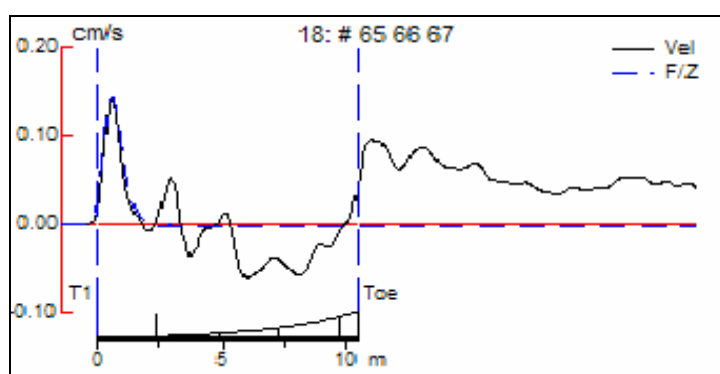
A Figura abaixo mostra o sinal típico de velocidade e força para uma estaca de 11 metros de comprimento, moldada *in loco*, íntegra. O gradual desvio para baixo do sinal de velocidade a partir de cerca de 3 m pode ter sido provocado pelo atrito lateral ou alargamento.



A figura abaixo mostra o sinal típico de uma estaca de 11 metros de comprimento com dano a cerca de 3 metros abaixo do acelerômetro.



A figura abaixo mostra o sinal típico de uma estaca de 10,5 metros de comprimento com anomalia a cerca de 2,5 m abaixo do acelerômetro. É possível ver o retorno às condições normais abaixo deste ponto, bem como a reflexão de ponta.

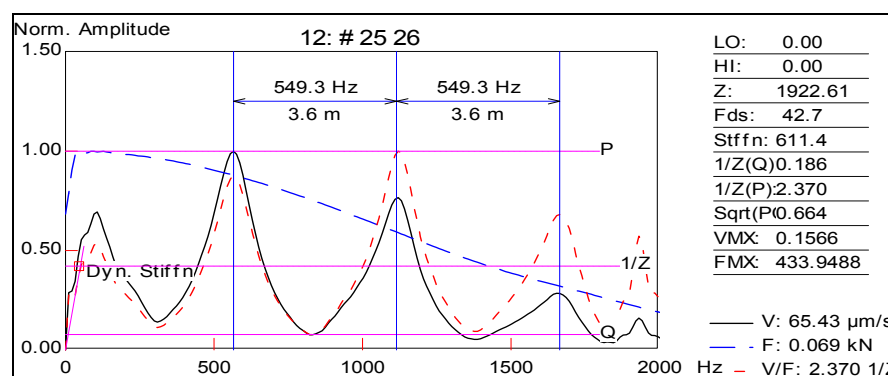


- 5.2. A análise pelo método de resposta transiente é feita com base na transformada de Fourier do sinal de mobilidade, definido como o sinal de velocidade dividido pelo sinal de força. Picos no espectro da mobilidade são indicativos de variações de impedância, ou da ponta da estaca. As frequências onde ocorrem estes picos podem ser convertidas para comprimento equivalente, usando a expressão:

$$L = \frac{c}{2f}$$

onde L é o comprimento, c é a velocidade da onda e f é a frequência. A análise é geralmente feita com base na diferença de frequências de picos adjacentes.

A figura abaixo mostra o espectro da mobilidade para uma estaca com dano a 3,6 metros abaixo do acelerômetro. O valor da rigidez dinâmica (*Dyn. Stiffn* na figura), de 611,4 MN/m, está bem abaixo da faixa dos valores obtidos para as estacas sem dano nesta obra (de 1000 a 1400 MN/m). A rigidez dinâmica determinada pelo método de resposta transiente pode ser usada de forma comparativa, portanto.



5.3. Ferramentas adicionais de auxílio no diagnóstico são as vezes empregadas, podendo-se citar os programas de estimativa de perfil e o método BETA, ligados ao método pulso-eco. Estas ferramentas podem em algumas circunstâncias fornecer indicações numéricas quanto a eventuais reduções de impedância, porém seus resultados devem ser sempre informados dentro de uma faixa possível de valores, e nunca como um valor absoluto. Os resultados só serão válidos dentro de algumas hipóteses, a mais importante delas sendo a existência de clara reflexão de ponta no sinal analisado. Os programas de determinação de perfil em geral exigem a relação entre o volume real de material empregado e o volume teórico da estaca como dado de entrada.

6. Apresentação dos resultados

6.1. Os resultados são apresentados em relatório oficial revisto e assinado pelo supervisor dos ensaios, o qual será Engenheiro com comprovada capacitação na interpretação de ensaios de integridade de baixa deformação.

6.2. O relatório conterá pelo menos as seguintes informações:

6.2.1. Gerais

- 6.2.1.1. Identificação do projeto.
- 6.2.1.2. Locação do ensaio.
- 6.2.1.3. Data do ensaio.
- 6.2.1.4. Descrição do tipo de estaca e processo construtivo.
- 6.2.1.5. Sondagem de referência (quando disponível).
- 6.2.1.6. Massa do martelo usado no ensaio.
- 6.2.1.7. Descrição sucinta dos equipamentos e métodos de análise empregados.

6.2.2. Para cada estaca

- 6.2.2.1. Número de projeto.
- 6.2.2.2. Diâmetro ou dimensão transversal nominal.
- 6.2.2.3. Diâmetro ou área medida no topo – exceto para estacas já integradas à estrutura.
- 6.2.2.4. Comprimento abaixo do acelerômetro.
- 6.2.2.5. Velocidade de onda empregada na análise.
- 6.2.2.6. Sinal médio de velocidade e, opcionalmente, da força, com indicação de escala vertical e horizontal. A escala vertical do sinal de força deverá estar calibrada em velocidade equivalente, mediante divisão pela impedância do topo da estaca. A escala horizontal poderá ser de tempo ou de comprimento equivalente, mediante multiplicação pela velocidade de onda.
- 6.2.2.7. Quantidade de sinais incluídos na média.
- 6.2.2.8. Valor máximo da amplificação variável utilizada, com indicação do ponto de início de aplicação da mesma.
- 6.2.2.9. Frequências de corte dos filtros passa alta e passa baixa eventualmente utilizados.
- 6.2.2.10. Intensidade e sentido da rotação do sinal (pivot).
- 6.2.2.11. Localização das eventuais emendas.
- 6.2.2.12. Diagnóstico a partir da interpretação dos sinais obtidos. Sugere-se a utilização da seguinte terminologia:
 - 6.2.2.12.1. *Nenhuma anomalia encontrada* – significa que a reflexão de ponta é visível perto do comprimento previsto da estaca, utilizando-se velocidade de propagação da onda dentro de uma faixa de valores aceitáveis; eventuais reduções encontradas correspondem a retornos de alargamentos anteriores, ou são de pequena intensidade, julgadas como estando dentro das tolerâncias normais em qualquer tipo de fundação.

- 6.2.2.12.2. *Anomalia a XX metros* – significa que foi detectada uma reflexão da onda correspondente a redução de área de seção e/ou módulo de elasticidade e/ou peso específico do concreto; é visível o retorno às condições normais e a reflexão de ponta. Em alguns casos é possível estimar a intensidade da redução, conforme item 5.3.
- 6.2.2.12.3. *Dano a XX metros* – significa que foi detectada forte reflexão no local indicado, com um padrão repetitivo que indica pouca ou nenhuma transmissão da onda abaixo deste ponto; reflexão de ponta inexistente ou pouco clara. NOTA: nestes casos, em geral não é possível saber-se o estado da estaca abaixo do dano; para isto será necessário efetuar escavação que permita remoção da parte da estaca acima do dano, e repetição do ensaio após preparo de nova superfície de impacto.
- 6.2.2.12.4. *Reflexão a XX metros* – significa que foi detectada uma reflexão de onda geralmente indicativa de redução de parâmetros do concreto, porém não é possível assegurar de que se trata de anomalia, podendo também ser resultante da metodologia executiva ou outro fator.
- 6.2.2.12.5. *Contínua até XX metros* – significa que houve dispersão do sinal a partir do ponto indicado; nenhuma anomalia foi detectada acima deste ponto, mas nada é possível afirmar com relação à integridade da estaca abaixo dele.
- 6.2.2.12.6. *Ensaio inconclusivo* – significa que os sinais contêm componentes que tornam impossível o diagnóstico; se houver suspeita de existência de material contaminado ou preparo deficiente no topo da estaca, o ensaio deverá ser repetido após sanada a deficiência.

7. Precisão e limitações

- 7.1. Se o comprimento da estaca for conhecido com precisão e a reflexão da ponta for claramente visível, é possível determinar exatamente a velocidade de propagação da onda. Se isto não acontecer, pode ser adotada uma velocidade de onda de 4000 m/s, mas neste caso os comprimentos determinados pelo ensaio poderão estar até cerca de 10% maiores ou 10% menores do que os comprimentos reais.
- 7.2. O comprimento máximo que é possível ensaiar com o método de baixa deformações é limitado. Em geral é especificado um limite para a relação entre o comprimento e a dimensão transversal da estaca variando de 20 a 50. Quanto maior a resistência do solo menor o limite de sensibilidade do ensaio, porém outros fatores também têm influência. Se houver suspeita de que o limite de sensibilidade do ensaio é inferior ao comprimento previsto para a estaca, é possível a emissão de diagnóstico parcial, limitado ao comprimento onde as indicações dos sinais permitem um diagnóstico confiável.
- 7.3. Este método em geral não permite estimar a intensidade de uma eventual redução de impedância, ou o permite apenas de maneira muito aproximada. Não existem correlações que permitam determinar o grau de precisão dos diversos métodos de estimativa da intensidade das variações de impedância mencionados no item 5.3.
- 7.4. Como a impedância é função da área de seção, do módulo de elasticidade e do peso específico, é impossível saber qual destes três parâmetros é o causador de uma eventual variação detectada. Deve-se ter em mente, portanto, que o ensaio de baixa deformação não é capaz de distinguir entre redução de área de seção e redução da qualidade do material.
- 7.5. A avaliação da integridade abaixo de uma fissura transversal que abranja a maior parte da seção da estaca não é normalmente possível. O mesmo se aplica a emendas com pouca superfície de contato entre os dois elementos, principalmente se a mesma se situar em região de elevado atrito lateral.
- 7.6. É difícil avaliar estacas com seção lateral muito variável, ou com múltiplas descontinuidades. Em geral o método só é capaz de detectar a variação de impedância significativa mais próxima do topo da estaca. Sugere-se a escavação e remoção da parte da

estaca acima de um eventual dano e repetição do ensaio para verificação da integridade da parte restante.

- 7.7. Se a estaca tiver defeitos ou fissuras muito perto do topo, o resultado obtido poderá ser inconclusivo. Em alguns casos, bons resultados são obtidos com a repetição do ensaio após a eliminação de 0,3 a 0,5 metros do topo da estaca.
- 7.8. Danos muito próximos à ponta da estaca podem ser impossíveis de detectar com este método, já que a reflexão causada pelo dano poderá ser confundida com a própria reflexão de ponta.

8. Aplicabilidade

- 8.1. Este método é bastante eficiente para detecção de anomalias e danos em estacas de concreto, os quais podem vir a comprometer seriamente a estabilidade da estrutura que as mesmas deverão suportar. O método é útil também para confirmação de comprimento de estacas em que o mesmo não é conhecido com exatidão. Dentre os demais métodos existentes para ensaio de integridade em estacas, ele é o de aplicação mais simples e rápida. Recomenda-se a execução do ensaio de baixa deformação como controle de qualidade do maior percentual possível das estacas em uma obra, tendo em vista que os diagnósticos são fortemente baseados na comparação dos sinais obtidos, e a grande quantidade de estacas que podem ser ensaiadas por dia de serviço em campo.
- 8.2. Falsos diagnósticos positivos são possíveis neste tipo de ensaio nas seguintes circunstâncias:
 - 8.2.1. Ocorrência de alargamento gradual, com súbito retorno ao diâmetro nominal. Variações graduais de impedância não são facilmente detectadas, ou podem ser confundidas com atrito lateral e portanto removidas pelos filtros normalmente empregados.
 - 8.2.2. Estacas que atravessam camadas de solo com variações de resistência relativamente bruscas. As reflexões causadas por estas variações podem ser confundidas com anomalias ou danos.
 - 8.2.3. Existência de variações normais de impedância resultantes do processo executivo das estacas.
- 8.3. Falsos diagnósticos negativos são possíveis neste tipo de ensaio nas seguintes circunstâncias:
 - 8.3.1. Diferencial insuficiente entre o módulo de elasticidade da estaca e do solo circundante. O ensaio pode não ser capaz de detectar eventuais variações de impedância no caso de estacas que atravessam camadas de solo muito duro, estacas embutidas em rocha, ou que estejam em contato com pedregulhos, matacões, etc.
 - 8.3.2. Variações de impedância muito graduais, cujas reflexões podem ser confundidas com atrito lateral e portanto são normalmente filtradas.
 - 8.3.3. Variações muito pequenas de impedância, cujas reflexões podem ser eliminadas pelos filtros normalmente empregados.
 - 8.3.4. Existência de fissuras longitudinais, em muitos casos.
- 8.4. Este método é geralmente capaz de detectar danos significativos nas estacas. Contudo, ele pode também identificar variações menores, que possivelmente não afetariam a capacidade de carga da estaca, e tampouco afetariam sua utilização a longo prazo. Portanto, caso o ensaio de baixa deformação aponte qualquer anomalia, poderá ser necessário que ensaios adicionais sejam realizados. Sempre que possível é recomendável que a parte da estaca sob suspeita seja exposta para permitir uma completa inspeção visual. Deve-se sempre ter em mente que eventuais reduções de impedância apontadas pelo ensaio podem corresponder tanto a reduções de área de seção como a diminuição da resistência ou do peso específico do material, e que as anomalias poderão estar localizadas tanto na superfície como no interior da estaca.

9. Normas

Não existe norma brasileira para este tipo de ensaio. Dentre as normas estrangeiras, podem ser citadas as seguintes (em ordem alfabética de país):

- 9.1. Alemanha – DGGT – “Empfehlung Integritätsprüfungen”
- 9.2. Austrália – Australian Standard AS 2159 – “Pile – Design and Installation”
- 9.3. China – JGJ/T 93-95 – “Specification for Low Strain Dynamic Testing of Piles”
- 9.4. Estados Unidos – ASTM D5882 – “Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles”
- 9.5. França - NFP 94-160-2 – “Auscultation d'un élément de fondation; Partie II - Méthode par réflexion” e NFP 94-160-4 – “Auscultation d'un élément de fondation; Partie IV - Méthode par impédance”
- 9.6. Inglaterra – Institution of Civil Engineers (ICE) – “Specification of Piling”

10. Bibliografia

Apesar dos fundamentos teóricos do ensaio PIT serem conhecidos desde o século XIX, ele só se tornou viável na prática em época relativamente recente, com o desenvolvimento da eletrônica. Assim, os livros textos trazem pouca ou nenhuma informação especificamente sobre este tipo de ensaio. Adiante são mencionadas alguns “papers” e publicações:

1. Goble, G.G. and Morgano, C.M., (1988) "Integrity Testing of Piles and Drilled Shafts", Pile Dynamics, Inc., Cleveland, Ohio, EUA.
2. Rausche, F. and Seitz, J., (1983) "Integrity Testing of Shafts and Caissons", presented at the Specialty Session of Shafts and Caissons, the ASCE Annual Convention, Philadelphia, EUA.
3. Van Koten, H. and Middendorp, P., (1980) "Equipment for Integrity Testing and Bearing Capacity of Piles", Application of Stress-Wave Theory on Piles, H. Brendenberg, Editor, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
4. Schaap, L. and de Vos, J., (1984) "The Sonic Pile Test Recorder and its Application". Proceedings, 2nd. International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Stockholm, Suécia.
5. Reiding, F. et al., (1984) "A Digital Approach to Sonic Pile Testing". Proceedings, 2nd. International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Stockholm, Suécia.
6. Rausche, F. et al., (1988) "Pile Integrity by Low and High Strain Impacts". Proceedings, 3rd. International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, B.H. Fellenius, ed., Ottawa, Canadá.
7. Rausche, F., Ren-Kung, S., Likins, G., (1991) "A Comparison of Pulse Echo and Transient Response Pile Integrity Test Methods". Pile Dynamics, Inc., Cleveland, Ohio, EUA.
8. Beim, G.K. et al., (1990) "Teste de Integridade em Estacas no Brasil". Proceedings, Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica de Campo-SINGEO '90, Rio de Janeiro, Brasil.
9. Valverde, S. et al., (1991) "Teste de Integridade de Estacas, Proceedings, 2º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, São Paulo, Brasi

Sobre Mecânica das Ondas pode ser citado:

1. Timoschenko, S. and Goodier, J.N., (1951) "Theory of Elasticity", Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., New York, EUA.
2. Alonso, M. and Finn, E.J., (1967) "Fundamental University Physics", volume II, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA, EUA.

anexo-pit.doc – última atualização 5/4/05

SOMOS ESPECIALISTAS EM:

- ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (PDA)
- ENSAIO DE INTEGRIDADE (PIT)
- MEDIDAS DE ENERGIA SPT
- ANÁLISE DE CRAVABILIDADE

Nossa especialização e imensa experiência acumulada ao longo de 28 anos habilitou-nos a ensaiar todos os tipos de estacas, tais como estacas cravadas (concreto, perfil metálico, tubulares metálicas, trilhos e mistas) e estacas moldadas "in loco" (hélice contínua, raiz, estações, barretes etc). Nosso comprometimento com a excelência técnica permite a viabilização em parceria com os projetistas e consultores de soluções técnicas e econômicas em qualquer situação.

Nossos ensaios dinâmicos permitem uma avaliação abrangente das fundações a um custo-benefício muito vantajoso para o Contratante.

A PDI Engenharia atua em todos os tipos de obras, tais como edificações, pontes, viadutos, estações de tratamento de água e efluentes, aeroportos, portos, bases marítimas avançadas, complexos aero-geradores etc.



Em abril de 1987 a PDI Engenharia é estabelecida através de acordo direto com a empresa "Pile Dynamics, Inc." (PDI) de Cleveland, Ohio, EUA, se tornando a primeira empresa privada com PDA no Brasil. Sempre na vanguarda, em maio de 1989 a PDI Engenharia introduz o equipamento PIT no Brasil. Ao longo desses 28 anos a PDI Engenharia estabeleceu contato com mais de 500 clientes no Brasil, em países da América Latina como Peru, Uruguai, Argentina, Equador, Republica Dominicana, Chile e na Europa, como Portugal e Espanha. Nosso objetivo é oferecer ensaios dinâmicos de estacas com a máxima qualidade.

www.pdiengenharia.com.br