

**ENSAIOS DE PENETRAÇÃO DINÂMICA –
CORRELAÇÕES ENTRE O ENSAIO STANDARD
PENETRATION TEST (SPT) E O PENETRÓMETRO
DINÂMICO SUPER PESADO (DPSH)**

Victor do Carmo Destefano

Relatório Final de Dissertação Apresentado à
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto
Politécnico de Bragança**

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Maio de 2021

**ENSAIOS DE PENETRAÇÃO DINÂMICA –
CORRELAÇÕES ENTRE O ENSAIO STANDARD
PENETRATION TEST (SPT) E O PENETRÓMETRO
DINÂMICO SUPER PESADO (DPSH)**

Victor do Carmo Destefano

Relatório Final de Dissertação Apresentado à
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto
Politécnico de Bragança**

Para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Orientadores:

Prof. Dr. António Miguel Verdelho Paula

Prof. Dr. Pedro Nuno Gonçalves Nogueiro

Maio de 2021

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho. Obrigado.

Aos Professores, Doutor António Miguel Verdelho Paula e Doutor Pedro Nuno Gonçalves Nogueiro, agradeço por terem aceite a orientação deste trabalho, aos conselhos e ensinamentos, dedicação, paciência e apoio.

Agradeço a Direção da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, pela disponibilidade dos meios que permitiram a realização deste estudo.

Agradeço à Eng.^a Hermínia Morais, ao Sr. Octávio Pereira e Sr. João Pires do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção da ESTIG, pela sua colaboração na realização dos ensaios efetuados.

Não poderia deixar de agradecer a minha família e amigos, por todo o apoio e carinho, em especial ao meu amigo e pai Sr. António Destefano.

Resumo

Esta dissertação pretende apresentar e correlacionar os resultados dos ensaios Standard Penetration Test (SPT) e Penetrómetro Dinâmico Superpesado (DPSH), realizados em diferentes solos da região do nordeste transmontano.

Ao submeter os solos dos campos experimentais a ensaios *in situ* e de laboratório, foi reunido um importante conjunto de informações, relacionadas ao solo analisado e aos equipamentos empregados, podendo ser fonte útil a futuras investigações.

No decorrer do trabalho, são tecidas considerações a respeito da importância da caracterização geotécnica, das vantagens da associação dos ensaios SPT e DPSH nas campanhas de caracterização geotécnica e das correlações existentes entre os ensaios e entre outros parâmetros geotécnicos.

As relações obtidas entre os ensaios (N_{SPT}/N_{DPSH}) estão entre 0,97 a 1,35, e o valor de R^2 varia entre 0,79 a 0,99, próximos ao valor da unidade, indicando uma boa correlação entre os resultados dos ensaios.

Abstract

This thesis goal is to present and correlate the results of the Standard Penetration Test (SPT) and Superheavy Dynamic Penetrometer (DPSH), performed in different soil types from the northeast of Portugal.

When the experience with the soil types - *in situ* and in the laboratory - was done, an important set of information related to the analyzed soil and the equipment used was gathered and can be a useful source for future investigations.

While the work was in progress, considerations are made about the importance of geotechnical characterization, the advantages of the association of SPT and DPSH tests in the geotechnical characterization and the correlations that exist between these *in situ* tests and other geotechnical parameters.

The ratios obtained when we compared the tests (N_{SPT}/N_{DPSH}) are from 0.97 to 1.35, and the value of R^2 varies from 0.79 to 0.99, close to the unit value, indicating a good correlation between the tests results.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Lista de figuras	vii
Lista de tabelas	x
Abreviaturas e Símbolos	xiii
1- Introdução	1
1.1- Objetivos	1
1.2- Metodologia aplicada	1
1.3- Estrutura da tese	2
2- Metodologias de avaliação das características mecânicas de solos	4
2.1- Considerações iniciais	4
2.2- Ensaio <i>in situ</i>	4
2.2.1- Standard Penetration Test (SPT)	8
2.2.1.1- Equipamento e ensaio	10
2.2.1.2- Fatores com influência nos resultados do ensaio SPT	13
2.2.1.3- Correções ao valor do NSPT.....	17
2.2.1.4- Correlações de NSPT com as características e parâmetros do solo.....	21
2.2.2- Penetrômetros dinâmicos (DP).....	32
2.2.3- Correlações existentes entre o SPT e o DPSH	38
2.3- Ensaio de laboratório	43
3- Plano de trabalhos e caracterização geotécnica	45
3.1- Considerações iniciais	45
3.2- Descrição do plano de trabalhos.....	45
3.3- Apresentação dos campos experimentais	45
3.4- Equipamento utilizado.....	49

3.5-	Ensaio de identificação	50
3.6-	Ensaio SPT.....	52
3.6.1-	Considerações iniciais	52
3.6.2-	Campo Experimental 1	53
3.6.3-	Campo Experimental 2	55
3.6.4-	Campo Experimental 3	58
3.6.5-	Campo Experimental 4	60
3.6.6-	Considerações finais	63
4-	Análise e apresentação dos resultados	66
4.1-	Considerações iniciais	66
4.2-	Critério de seleção dos dados	68
4.3-	Campo Experimental 1	69
4.4-	Campo Experimental 2.....	71
4.5-	Campo Experimental 3.....	73
4.6-	Campo Experimental 4.....	76
4.7-	Análise geral dos resultados obtidos nos campos experimentais.....	78
4.8-	Análise comparativa com resultados obtidos por outros autores	79
4.8.1-	Comparação com resultados de Afonso (2016).....	79
4.8.2-	Análise com resultados da bibliográfica.....	82
5-	Conclusões e estudos futuros	84
	Referências Bibliográficas	85
	Anexos.....	88

Lista de figuras

Figura 1- Esquema geral da metodologia aplicada	2
Figura 2- Secção longitudinal do amostrador SPT, dimensões em mm (adaptado, EN ISO 22476-3,2006)	11
Figura 3- Esquema de execução do ensaio SPT, mm (adaptado, EN ISO 22476-3,2006)	12
Figura 4- Equipamento do ensaio SPT (amostrador normalizado de Terzaghi e dispositivo automático de queda)	13
Figura 5- Comparação entre o ábaco de Gibbs y Holtz (1957) com o de Terzaghi e Peck (1948) elaborado por (Coffman 1960, citado por IGEOEST, 2004).....	24
Figura 6- Relações de E com o N para solos residuais Sandroni (1991)	29
Figura 7- Valores da resistência à compressão simples a partir do $NSPT$ para solos coesivos de diferente plasticidade (NAVFAC, 1971 adaptado por Bondo e Carvalho, 2011).....	31
Figura 8- Formas alternativas de pontas cónicas para o ensaio de penetração dinâmica DPSH (adaptado, EN ISO 22476-2:2005).....	35
Figura 9- Relação entre $(N_{60})SPT$ e $(N_{20})DPSH$ com referência às duas áreas do amostrador de Terzaghi (Viana da Fonseca, 1996).....	40
Figura 10- Relação entre N_{SPT} e N_{DPSH} (Cavaleiro, 2001, citado por Bessa, 2009).....	42
Figura 11- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ dos Campos Experimentais analisados (adaptado, Afonso, 2016)	42
Figura 12- Localização dos campos experimentais em Bragança.....	46
Figura 13- Localização do campo experimental 2 na aldeia França	47
Figura 14- Localização do campo experimental 4 em Vila Flor.....	47
Figura 15- Distribuição dos ensaios SPT e DPSH nos campos experimentais	48
Figura 16- Penetrómetro dinâmico portátil do Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança e amostrador do ensaio SPT.	49
Figura 17- Composição granulométrica média dos campos experimentais	51
Figura 18- Curva granulométrica média dos campos experimentais	52
Figura 19- Distribuição dos valores N_{SPT} em profundidade	52
Figura 20- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 1	53
Figura 21- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 2	56

Figura 22- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 3	58
Figura 23- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 4	61
Figura 24- Histograma de frequência segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967), relativas aos 4 campos experimentais	64
Figura 25- Histograma de frequência segundo as classes de compacidade propostas por Skempton (1986), relativas aos 4 campos experimentais	64
Figura 26- Distribuição dos valores N_{SPT} em profundidade	66
Figura 27- Distribuição dos valores $NDPSH$ em profundidade	67
Figura 28- Distribuição dos pares de dados $NSPT/NDPSH$	67
Figura 29- Esquema indicativo das profundidades analisadas (Afonso, 2016)	68
Figura 30- Critério adotado para eliminar os pontos discrepantes (adaptado, Politano, 1999 citado por Afonso, 2016).....	69
Figura 31- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e $NDPSH$ do Campo Experimental 1.....	69
Figura 32- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 1: Análise global	70
Figura 33- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 1: Análise parcial	71
Figura 34- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e $NDPSH$ do Campo Experimental 2.....	72
Figura 35- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 2: Análise global	72
Figura 36- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 2: Análise parcial	73
Figura 37- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e $NDPSH$ do Campo Experimental 3.....	74
Figura 38- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 3: Análise global	75
Figura 39- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 3: Análise parcial	75
Figura 40- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e $NDPSH$ do Campo Experimental 4	76
Figura 41- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 4: Análise global	77
Figura 42- Regressão linear entre $NSPT$ e $NDPSH$ do Campo Experimental 4: Análise parcial	77

Figura 43- Regressão linear entre <i>NSPT</i> e <i>NDPSH</i> dos Campos Experimentais analisados: Análise parcial.....	78
Figura 44- Regressão linear entre <i>NSPT</i> e <i>NDPSH</i> dos Campos Experimentais em comparação aos Campos propostos por Afonso (2016): Análise parcial.....	80
Figura 45- Regressão linear entre <i>NSPT</i> e <i>NDPSH</i> de todos os Campos Experimentais (SM e SC) juntamente aos campos propostos por Afonso (2016): Análise global.....	81
Figura 46- Regressão linear entre <i>NSPT</i> e <i>NDPSH</i> de todos os Campos Experimentais (SM e SC) juntamente aos campos 1 e 2 propostos por Afonso (2016): Análise parcial.....	81
Figura 47- Relação entre os valores obtidos de N_{SPT}/N_{DPSH} e N_{SPT} e os limites teóricos	82

Lista de tabelas

Tabela 1- Características dos ensaios <i>in situ</i> (Cruz, 2010)	5
Tabela 2- Quadro dos parâmetros deduzidos (Cruz, 2010).....	6
Tabela 3- Aplicabilidade dos ensaios <i>in situ</i> (Cruz, 2010)	6
Tabela 4- Emprego do ensaio SPT por Países (Politano, 1999).....	9
Tabela 5- Vantagens e desvantagens do ensaio SPT, adaptado de Mayne et al. (2002) e Afonso (2016).	10
Tabela 6- Fatores que podem causar alterações aos resultados SPT, (Cavalcante, 2002)	15
Tabela 7- Interferências causadas por tipo ou estado do solo (Nunes Veiga, 2011).....	16
Tabela 8- Coeficiente corretivo devido o comprimento do trem de varas, CR (Skempton, 1986)	20
Tabela 9- Coeficiente corretivo para o diâmetro do furo de sondagem, CD (Skempton, 1986)	20
Tabela 10- Coeficiente corretivo em função do tensão vertical, C_N (Skempton, 1986)	20
Tabela 11- Correlação entre N e I_D em areais (Terzaghi e Peck, 1948, citado por IGEOTEST, 2004).....	22
Tabela 12- Correlação entre N e I_D em areias (Skempton, 1986, citado por citado por Matos Fernandes, 2011)	23
Tabela 13- Relação entre a consistência de argilas, N e qu (Terzaghi e Peck, 1967)	23
Tabela 14- Correlação ente I_D e ϕ , em função da granulometria (Burmister, 1948)	26
Tabela 15- Propriedades comuns dos solos não coesivos (Hunt, 1984)	27
Tabela 16- Relação entre I_D , q_c e ϕ para solos granulares (Meyerhof, 1956, citado por Lopes, 2001).....	27
Tabela 17- Correlação entre I_D e o ângulo de resistência ao corte de areias de quartzo (US Army Corps of Engineers, 1993, citado por Matos Fernandes, 2011).	28
Tabela 18- Correlações entre $E(MPa)$ e $N_{SPT}(N_{60})$ para solos arenosos (Clayton, 1986, citado por Filho, 2010).....	29
Tabela 19- Correlações entre $E(kPa)$ e $N_{SPT}(N_{55})$ para diversos solos (Bowles, 2001 citada por Afonso, 2016).....	30
Tabela 20- Relação entre o N_{60} e a consistência de argilas (Clayton et al., 1995, citado por Matos Fernandes, 2011)	31
Tabela 21- Propriedades dos solos argilosos (Hunt, 1984 citado por IGEOTEST, 2004).....	31
Tabela 22- Tipos de penetrômetros dinâmicos (Matos Fernandes, 2011)	32

Tabela 23- Dimensões e massas dos quatro tipos de dispositivos para ensaios de penetração dinâmica, (adaptado de EN ISO 22476-2:2005 por Afonso, 2016)	34
Tabela 24- Classes de qualidade de amostras de solos para ensaios de laboratório (adaptado ENV 1997-3 1999)	43
Tabela 25- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 1	53
Tabela 26- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 1, segundo as classes de compactidade propostas por Terzaghi e Peck (1967).....	54
Tabela 27- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 1, segundo as classes de compactidade propostas por Skempton (1986)	54
Tabela 28- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956).....	55
Tabela 29- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996).....	55
Tabela 30- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 2	56
Tabela 31- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 2, segundo as classes de compactidade propostas por Terzaghi e Peck (1967).....	56
Tabela 32- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 2, segundo as classes de compactidade propostas por Skempton (1986)	57
Tabela 33- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956).....	57
Tabela 34- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996).....	57
Tabela 35- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 3	58
Tabela 36- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 3, segundo as classes de compactidade propostas por Terzaghi e Peck (1967).....	59
Tabela 37- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 3, segundo as classes de compactidade propostas por Skempton (1986)	59
Tabela 38- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956).....	60
Tabela 39- Valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996).....	60
Tabela 40- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 4.....	61

Tabela 41- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 4, segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967).....	61
Tabela 42- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 4, segundo as classes de compacidade propostas por Skempton (1986)	62
Tabela 43- Valores de I_D e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956).....	62
Tabela 44- Valores de I_D e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956).....	62
Tabela 45- Resumo dos valores de ID e \emptyset em função da distribuição dos valores de N_{60}	63
Tabela 46- Classificação do solo e a respectiva compacidade.....	65
Tabela 47- Valores dos pares de dados $NSPT/NDPSH$ do Campo Experimental 1.....	70
Tabela 48- Dados da análise parcial do Campo Experimental 1.....	71
Tabela 49- Valores dos pares de dados $NSPT/NDPSH$ do Campo Experimental 2.....	72
Tabela 50- Valores dos pares de dados $NSPT/NDPSH$ do Campo Experimental 3.....	74
Tabela 51- Dados da análise parcial do Campo Experimental 3.....	75
Tabela 52- Valores dos pares de dados $NSPT/NDPSH$ do Campo Experimental 4.....	76
Tabela 53- Dados da análise parcial do Campo Experimental 4.....	77
Tabela 54- Resultados das regressões lineares referentes aos dados dos ensaios SPT e DPSH para os quatro campos experimentais analisados.	78
Tabela 55- Analise comparativa entre as relações obtidas e propostas por Afonso (2016).....	79
Tabela 56- Analise comparativa entre composição granulométrica do solo.....	79

Abreviaturas e Símbolos

Alfabeto latino

$(N_1)_{60}$ – Valor de N_{60} corrigido para $E_R = 60\%$ e para uma tensão efetiva vertical de 1 atmosfera;

c – Coesão em tensões totais;

c' – Coesão efetiva;

C_D – Coeficiente corretivo do resultado do ensaio SPT para ter em conta o diâmetro do furo de sondagem;

C_E – Coeficiente corretivo do resultado do ensaio SPT para ter em conta a energia;

C_N – Coeficiente corretivo do resultado do ensaio SPT para ter em conta a tensão efetiva vertical;

C_R – Coeficiente corretivo do resultado do ensaio SPT para ter em conta o comprimento do trem de varas;

c_u – Resistência não drenada;

c_v – Coeficiente de consolidação vertical;

D_{10} – Diâmetro efetivo, dimensão correspondente a 10% de material passado numa curva granulométrica;

D_{50} – Diâmetro efetivo, dimensão correspondente a 50% de material passado numa curva granulométrica;

E' – Energia transmitida ao trem de varas em cada pancada no ensaio SPT;

e – Índice de vazios;

E – Módulo de Young, módulo de deformabilidade;

E_p – Energia potencial do martelo do ensaio SPT antes da queda;

E_R – Rácio de energia do ensaio SPT;

g – Aceleração da gravidade;

G_0 – Módulo de distorção elástico (para pequenas deformações);

H – Altura de queda do pilão nos ensaios com penetrómetro dinâmico;

I_D – Índice de compactidade;

k – Coeficiente de permeabilidade;

K_0 – Coeficiente de impulso em repouso;

M' – Massa do pilão nos ensaios com penetrômetro dinâmico;

M – Módulo de deformabilidade confinada;

N – Número de pancadas para cravar 30 cm o amostrador na 2ª fase do ensaio SPT;

N_{60} – Resultado do ensaio SPT corrigido para $E_R = 60\%$;

OCR – Grau de sobreconsolidação;

S' – Área da base do cone de penetrômetro dinâmico;

S – Área ou superfície;

u – Pressão neutra, pressão na água dos poros ou pressão intersticial;

u_0 – Pressão neutra de repouso;

w – Teor em água;

w_L – Limite de liquidez;

w_P – Limite de plasticidade;

Alfabeto grego

\emptyset – Ângulo de atrito ou ângulo de resistência ao corte em tensões totais;

\emptyset' – Ângulo de atrito ou ângulo de resistência ao corte efetivo;

γ – Peso volúmico;

γ' – Peso volúmico submerso;

γ_d – Peso volúmico seco;

γ_s – Peso volúmico das partículas sólidas;

γ_{sat} – Peso volúmico saturado;

γ_w – Peso volúmico da água;

σ' – Tensão efetiva;

Siglas

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials;

ASTM – American Society for Testing Materials;

CEN – Comité Europeu de Normalização;

CPT – Ensaio com o cone-penetrómetro holandês;

CPTU – Ensaio com o piezocone-penetrómetro holandês;

DHT – Ensaio sísmico entre a superfície e pontos no interior de um furo de sondagem;

DMT – Ensaio com o dilatómetro de Marchetti;

DP – Ensaio com o penetrómetro dinâmico;

DPH – Ensaio com o penetrómetro dinâmico pesado;

DPL – Ensaio com o penetrómetro dinâmico leve;

DPM – Ensaio com o penetrómetro dinâmico médio;

DPSH – Ensaio com o penetrómetro dinâmico superpesado;

EC – Eurocódigo;

EN – Norma Europeia;

FVT – Ensaio de cone rotativo, vane test;

ISSMFE – International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

NP – Norma Portuguesa;

PLT – Ensaio de carga em placa;

PMT – Ensaio com o pressiómetro Ménard;

SCPTU – Ensaio sísmico de CPTU;

SPT – Standard penetration test.

1- Introdução

O engenheiro deve ter sempre presente que está tratando com um material (terreno) extremamente complexo, que varia de lugar para lugar e que, em geral, não pode ser observado por sua totalidade, mas, tão somente, através de amostras ou de ensaios in loco (Caputo, 2000). Tendo em conta estas dificuldades apresentadas pelos solos, surge a busca por dados que representem da melhor forma possível o material analisado.

Segundo Coelho (1996), a fonte incorreta ou inexistente de conhecimento do terreno, a escolha do método de fundação incorreta ou a deficiente execução da fundação causam parte significativa dos casos de acidentes ou anomalias em estruturas ou edifícios. Portanto, a caracterização do solo torna-se imprescindível para desenvolvimento dos projetos.

Existe um conjunto vasto de ensaios possíveis, realizados tanto em campo quanto em laboratório, entretanto devido aos problemas relacionados a recolha de amostras, os ensaios in situ, tornam-se indispensáveis para obras de engenharia civil, permitindo testar o solo em suas condições naturais.

1.1- Objetivos

Este estudo tem como objetivo principal correlacionar os resultados obtidos por ensaios efetuados com o Penetrómetro Dinâmico Superpesado, DPSH, e com os do Standard Penetration Test, SPT, utilizando os equipamentos disponíveis no Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança.

No presente trabalho, pretende-se demonstrar a importância e as vantagens da associação dos ensaios SPT e DPSH, tecendo no desenvolver, considerações a respeito da caracterização geotécnica do solo, reunindo informações sobre os terrenos analisados e sobre as características dos equipamentos utilizados.

1.2- Metodologia aplicada

A metodologia aplicada na realização deste trabalho inicia-se na fase de pesquisa, com a obtenção, compilação e assimilação de dados bibliográficos, com ênfase nas correlações existentes entre diferentes ensaios de penetrómetros.

Logo após, em uma segunda fase, foi reconhecido os campos experimentais a analisar e a executar os ensaios SPT e DPSH, os ensaios de laboratório são reconhecidos como a terceira fase da metodologia.

Utilizando os recursos bibliográficos obtidos na fase inicial, e os resultados ensaiados em campo e em laboratório, foi constituída a quarta fase do trabalho, onde foi realizada a análise dos resultados obtidos. Na Figura 1 apresenta-se de forma esquemática as principais operações que se desenvolveram no âmbito deste estudo.

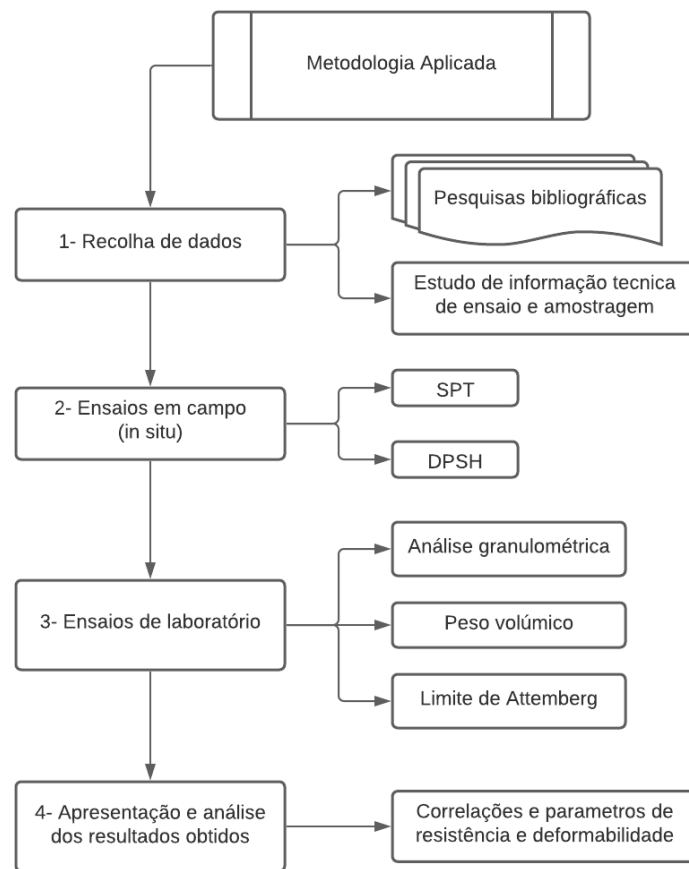


Figura 1- Esquema geral da metodologia aplicada

1.3- Estrutura da tese

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1, designadamente introdutório, são apresentados os objetivos e a metodologia adotada ao decorrer do trabalho.

No Capítulo 2, aborda-se as metodologias de avaliação das características do solo, comparando brevemente os ensaios in situ e os ensaios de laboratório, bem como as vantagens e as desvantagens inerentes a sua utilização.

Efetua-se no Capítulo 3 a caracterização geotécnica dos solos, onde define-se as metodologias seguidas nos trabalhos em campo e apresenta-se os resultados destes e dos ensaios de laboratório.

Durante o Capítulo 4, são expostos os critérios de seleção dos dados para a correlação entre os ensaios SPT e DPSH, e apresentados os resultados das correlações efetuadas.

No Capítulo 5 constam as considerações finais, onde é feita a análise e a enumeração dos resultados a retirar.

2- Metodologias de avaliação das características mecânicas de solos

2.1- Considerações iniciais

Neste capítulo é abordado a metodologia de execução dos ensaios utilizados e a temática da caracterização geotécnica através da utilização de ensaios *in situ* e ensaios de laboratório.

2.2- Ensaio *in situ*

O uso de ensaios de penetração ao solo, portanto *in situ*, surge segundo Broms e Flodin (1988), há cerca de 2000 anos atrás na região da atual China, entretanto a utilização de forma regular aconteceu somente no Império Romano, onde as investigações ao subsolo serviam de apoio à execução de estradas e pontes militares assentes em solos com baixa capacidade de suporte.

O decorrer das últimas décadas gerou fatores como o desenvolvimento tecnológico e a normalização dos procedimentos de execução, equipamentos e métodos de análise, estas mudanças marcam um novo horizonte para a implementação destes ensaios. Muito destes avanços são frutos de conferências e simpósios internacionais, existentes regularmente, desde os anos 70.

Segundo Viana da Fonseca (2004), o objetivo fundamental da utilização dos ensaios geotécnicos *in situ* é a determinação das propriedades do solo necessárias para o dimensionamento de estruturas geotécnicas ou para avaliação de perfis do subsolo.

Das metodologias comuns de análise geotécnica *in situ*, salientam-se as seguintes como indispensáveis para uma boa caracterização dos maciços (Viana da Fonseca, 2004):

- I. Mapeamento: a definição geomorfológica e material de zonas permite decisões mais fáceis sobre as soluções para as obras geotécnicas (cartas geotécnicas);
- II. Bases de dados materiais e zonais: descritivos do mapeamento anterior permitem partir para caracterizações mais direcionadas quando definidos os objetivos geotécnicos da obra;
- III. Métodos de prospecção geofísica: podem extrapolar com alguma eficiência profundidades aproximadas de rocha como do firme rochoso (em prática corrente geotécnica) se não houver forte proliferação de heterogeneidades;
- IV. Sondagens de furação com recolha de amostras: em solos residuais as técnicas de amostragem devem ter em consideração a sensibilidade destes materiais que mesmo com os maiores cuidados, são sempre perturbados na sua integridade estrutural;
- V. Poços de inspeção: ideais para recolha de amostras em materiais mais sensíveis – como os residuais – pois permitem a cravação estática lenta e controlada e (ou) a bizelagem de blocos indeformados nas paredes dos poços; têm claras limitações na profundidade a atingir;
- VI. Amostragem a trado: servem como estimativa preliminar para a definição do perfil rocha-solo;

- II. Ensaios *in situ*: devem ser sempre usados e os seus resultados cruzados para se obterem correlações paramétricas valiosas; este foi um dos objetivos principais do trabalho realizado; ensaios mais robustos como o SPT são tidos como mais úteis na avaliação da estratigrafia enquanto outros, mais sofisticados, como os pressiómetros, podem simular as trajetórias de tensões representativas de algumas obras geotécnicas no entanto, dadas as suas características, são limitados a maciços brandos e homogêneos.

Três fatores principais devem ser tidos em conta na seleção dos ensaios *in situ* para a caracterização mecânica dos solos (Viana da Fonseca, 2004):

- I. A variabilidade destes materiais tem que ser bem avaliada;
- II. A vasta gama de rigidez e resistência que tipifica um dado maciço natural impõe tecnologias que se adaptem facilmente a respostas heterogêneas (equipamentos suficientemente potentes) sem descuidar as exigências de uma boa sensibilidade para avaliação paramétrica;
- III. A interpretação tem que ser adequada a diferentes condições de textura, anisotropia e saturação dos solos.

Apesar da existência de metodologias comuns aos ensaios *in situ* e de recomendações gerais na validação de sua implementação, ainda assim é indispensável observar o comportamento individual de cada ensaio, levando em conta principalmente as necessidades específicas de cada ensaio bem como as recomendações de utilização.

Nas tabelas seguintes são apresentados um resumo de informações específicas de cada ensaio, em termos de características gerais, domínio de aplicação e de qualidade dos parâmetros resultantes, adaptado de Cruz (2010).

Tabela 1- Características dos ensaios *in situ* (Cruz, 2010)

	SPT/DP's	PLT	FVT	SCPTU	PMT	DMT
Equipamento	Simple e robusto	Simple e robusto	Simple e robusto	Complexo e robusto	Complexo e sensível	Simple e robusto
Execução	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Complexo	Fácil
Tipo Perfil	Contínuo Descontínuo	Descontínuo	Descontínuo	Contínuo	Descontínuo	Contínuo
Interpretação	Empírica	Teórica	Teórica	Teórica Empírica	Teórica Empírica	Teórica Empírica
Tipo de Solo	Todos os tipos	Aterros, Solos acima do nível freático	Argilas moles	Argilas muito moles a rígidas, areias muito soltas a medianamente compactas	Todos os tipos	Argilas muito moles a rígidas, areias muito soltas a medianamente compactas Aterros
Tipo de Informação	Qualitativa	Quantitativa	Quantitativa	Quantitativa	Quantitativa	Quantitativa
Informação Geotécnica	Compactação e consistência derivado de modelos parametrizados	Módulos de deformabilidade e capacidade de carga de fundações superficiais	Resistência ao corte não drenado	Avaliação contínua da densidade e resistência, Avaliação descontínua da rigidez e das propriedades hidráulicas	Compressibilidade e capacidade de carga	Estado de tensão, histórico de tensões, resistência e propriedades hidráulicas

SPT/DP'S: Standard Penetration Test/ Penetrômetros dinâmicos; PLT: Ensaio de carga em placa; FVT: Vane test; SCPTU: Ensaio sísmico de CPTU; PMT: Pressiômetro de Menard; DMT: Dilatômetro de Marchetti.

Tabela 2- Quadro dos parâmetros deduzidos (Cruz, 2010)

	Tipo de solo/perfil	u	γ	c_u	ϕ	I_D	M	G_0	K_0	OCR	C_v	k
SPT	Perfuração	--	3	3	3	2	3	3	--	--	--	--
DP's	--	--	--	3	3	2	3	3	--	--	--	--
FVT	Perfuração	--	--	1	--	--	--	--	--	2 3	--	--
PLT	--	--	--	2	3	--	1	1	--	--	--	--
PMT	Perfuração	--	--	2	3	3	2	2	3	3	--	--
CPTu	1 1	1	2	2	2	2	3	3	--	3	1 2	2
SCPTu	1 1	1	2	1 2	2	1 2	1 2	1	--	2	1 2	2
DMT	1 1	3	2	1 2	2	1 2	1 2	2 3	2 3	2	--	--
SDMT	1 1	3	1	1 2	2	1 2	1	1	2	2	--	--
CH	Perfuração	--	--	--	--	--	--	1	--	2	--	--

1: Alto; 2: Moderado; 3: Limitado; --: Inapropriado

u – Pressão neutra; γ – Peso volúmico; c_u – Resistência não drenada; ϕ – Ângulo de atrito; I_D – Índice de compactidade; M – Módulo de deformabilidade; G_0 – Módulo de distorção; K_0 – Coeficiente de impulso; OCR – Grau de sobreconsolidação; c_v – Coeficiente de consolidação vertical; k – Coeficiente de permeabilidade.

Tabela 3- Aplicabilidade dos ensaios *in situ* (Cruz, 2010)

	Tipo de solo					
	Gravilhas	Areias		Siltes	Argilas	
		Soltas	Densas		Moles	Compactas
SPT e DP's	2 a 3	1	1	2	3	3
PLT	4	1	1	1	1	1
FVT	4	4	4	3	1	2
CPT (Mec)	2 a 3	1	2	1	1	2
CPT (Elect)	3	1	2	1	1	2
SCPTU	3	1	2	1	1	2
PMT	2	2	1	1	1	1
SBPT	3	2	2	1	1	1
DMT	3	1	2	1	1	2

1: Alto; 2: Moderado; 3: Limitado; 4: Inapropriado

As individualidades de cada ensaio expostas nas tabelas apresentadas, ocasionam vantagens e desvantagens em sua aplicação, por essa razão torna-se interessante combinar vários tipos de ensaios nas campanhas geotécnicas, para que as desvantagens sejam compensadas, aumentando assim o nível de eficiência do conjunto, resultando nas seguintes vantagens (Cruz, 2010):

- O aumento do número de parâmetros geotécnicos avaliados, como resultado da soma de várias combinações de ensaios;
- Mais parâmetros de ensaio estão disponíveis para combinar, e assim surgem mais possibilidades para deduzir parâmetros geotécnicos que não poderiam ser obtidos de outra forma;
- Geralmente, cada ensaio tem as suas próprias vantagens e limitações, que são diferentes em cada caso, portanto, pares combinados dão a possibilidade de corrigir ou completar as informações obtidas, trazendo confiança aos parâmetros desejados;
- O cruzamento de informação do mesmo parâmetro geotécnico obtido por mais de um ensaio permite a calibração das correlações, bem como a detecção de inadequada aplicação de metodologias decorrentes, o que pode ser muito útil na caracterização de materiais não conhecidos, ou quando o ambiente geológico é muito diferente daqueles que suscitou a cada correlação específica;
- Possibilidade de combinar testes adaptados às condições locais, a fim de avaliar as informações de boa qualidade nos estratos com diferentes níveis de resistência à penetração. Em alguns casos é possível conseguir isso com custos mínimos.

Em geral, as combinações de ensaios devem ser selecionadas, incluindo sempre um ensaio contínuo. Usar o ensaio DPSH com o SPT pode ser um método interessante, pois o seu princípio de funcionamento semelhante torna mais fácil resolver uma correlação local entre os resultados dos dois ensaios, e fornece um log contínuo e dinâmico, pode ser trabalhado tanto na via de correlações SPT tradicional como através de um ponto dinâmico de resistência, q_d (Ribeiro, 2011).

Aproveitar a informação, qualitativa e quantitativa, que se pode obter da simples operação de cravar um dispositivo penetrante num maciço, foi um recurso que se apresentou, como é óbvio, desde as fases primitivas da sistematização da prospecção geotécnica (Folque, 1996). Esta simplicidade metodológica junto a necessidade global de prospecção geotécnica, fez surgir numerosos dispositivos, em regra atuados por percussão, a partir deles se deduziram correlações com as características mecânicas dos solos ensaiados.

Embora alguns destes dispositivos tenham sido abandonados, outros acabaram por serem bastante difundidos, o ensaio de penetração SPT – “Standard Penetration Test”, o ensaio de penetração estática CPT – “Cone Penetration Test” e, os ensaios penetrométricos dinâmicos com ponteiros cónicas DP – “Dynamic Probing” (penetrómetros dinâmicos).

Destinados a identificação, caracterização e quantificação de características mecânicas do solo, sua ampla utilização os tornaram tema de vários autores, no estudo dos referidos ensaios, cujas descrições, críticas e recomendações podem ser encontradas em numerosos trabalhos, de quais são exemplo (Duarte, 2002): Meyerhof (1956), Terzaghi & Peck (1967), Sanglerat (1972), Schmertmann (1970, 1971, 1979), Kovacs et al. (1977, 1978), Lambe & Witman (1979), Kovacs (1979), Riggs (1986), Chang (1988), Folque (1982, 1988 e 1996), Castro (1988), Novais Ferreira et al. (1990), Moitinho de Almeida (1991), Ladeira & Ferreira Gomes (1992), etc.

O presente estudo incidiu sobre a utilização dos seguintes penetrómetros dinâmicos:

- SPT – Standard Penetration Test;
- DPSH - Dynamic Probing Super Heavy (Penetrómetro Dinâmico Super Pesado).

Designados por penetrómetros dinâmicos devido ao facto da penetração da ponteira/amostrador no solo se dever à ação da queda de um martelo de massa determinada a uma altura padronizada. A seguir são apresentadas as metodologias de execução destes dois ensaios.

2.2.1- Standard Penetration Test (SPT)

Segundo Lima (2017), o Standard Penetration Test conhecido pela sigla SPT, é visto pela engenharia como sendo o mais popular, rotineiro e econômico devido à sua simplicidade, robustez e rápido tempo de resposta quando se trata de ferramentas para investigação geotécnica.

A vantagem deste ensaio está em se poder associar a resistência à penetração e a recolha de amostras ao longo de um perfil geotécnico. É um ensaio simples de se realizar, tendo como principais limitações o uso de correlações empíricas para parametrização geotécnica que podem variar muito com o tipo de maciço e com o tipo de equipamento utilizado (Viana da Fonseca, 1996).

Introduzido nos Estados Unidos em 1902 pelo engenheiro Charles R. Gow, o SPT passou por diversas mudanças, devidas à evolução do equipamento e a alteração dos procedimentos do ensaio. Desde então, a utilização deste ensaio *in situ* disseminou-se praticamente em toda a parte do mundo, tendo sido adaptado às diferentes condições geotécnicas, conforme o indicado na Tabela 4.

Tabela 4- Emprego do ensaio SPT por Países (Politano, 1999).

País	Emprego	
	Amplio	Ocasional
África do Sul	•	
Alemanha	•	
Argentina	•	
Austrália	•	
Bélgica		•
Brasil	•	
Canadá	•	
China	•	
Cingapura	•	
Espanha	•	
Estados Unidos	•	
Filipinas	•	
França		•
Grécia	•	
Hong Kong	•	
Índia	•	
Israel	•	
Itália	•	
Japão	•	
Malásia	•	
Marrocos		•
Nigéria	•	
Noruega		•
Paraguai	•	
Polónia		•
Portugal	•	
Reino Unido	•	
Suécia		•
Tailândia	•	
Ex-Tchecoslováquia		•
Turquia	•	
Venezuela	•	

O seu uso generalizado durante décadas em todo o mundo, possibilitou o acumulo de resultados de condições geotécnicas diversas, contribuindo para que autores apresentassem propostas de correlações entre o N_{SPT} e outros valores de ensaios como o CPT (Castro, 1988), o DPL e DPSH (Viana da Fonseca, 1996) e com outros parâmetros dos solos dos quais se destacam: densidade relativa, ângulo de atrito interno e módulo de deformabilidade (solos arenosos), resistência à

compressão simples (solos argilosos), assentamentos e capacidade de carga e suscetibilidade de maciços arenosos em relação à liquefação.

Atualmente, diversos documentos normativos relevantes referentes ao ensaio de campo SPT como o ASTM D1586, EN ISO 22476-3 e AASHTO T-206. Entretanto, mesmo normalizado o ensaio pode apresentar resultados significativamente influenciados por diversos fatores, nomeadamente dispositivos de cravação, tipos de solo, operadores e condições de amostragem.

Como anteriormente citado a utilização do ensaio possui vantagens e desvantagens, a Tabela 5 apresenta uma síntese dos fatores benéficos ou maléficos da aplicação do ensaio SPT.

Tabela 5- Vantagens e desvantagens do ensaio SPT, adaptado de Mayne et al. (2002) e Afonso (2016).

Vantagens	Desvantagens
Permite obter uma amostra e um valor em simultâneo.	A recolha simultânea resulta em má qualidade, tanto para a amostra como para o n mero.
Simples e robusto.	Perturbação da amostra.
Adequado a muitos tipos de solos.	N mero grosseiro para análise.
Realizável em rochas brandas.	Não aplicável em argilas ou siltes muito moles.
Disponível em todo o mundo.	Grande variabilidade e incerteza, causada por alterações externas (ex. equipamento, execução e operacional)
Execução com baixos custos	Não simula o tipo de comportamento do terreno mediante solitação estática.

2.2.1.1- Equipamento e ensaio

Em um aspecto geral, o ensaio SPT consiste em cravar o seu amostrador normalizado no fundo de um furo de sondagem, utilizando da força causada pelo impacto de um martelo de 63,5 kgf de peso que cai a uma altura de 76 cm.

Constituído por um amostrador, um conjunto de varas de aço, um martelo e seu dispositivo de elevação que o após eleva-lo, libera o martelo, o deixando cair em queda livre até atingir o batente ligado ao trem de varas.

De acordo com a norma EN ISO 22476-3: 2006, foram descritos os vários elementos constituintes deste ensaio.

Usualmente denominado por amostrador normalizado de Terzaghi, o amostrador normalizado SPT consiste em um tubo bipartido, com diâmetro exterior de 51mm e interior de 35mm, a peça de cravação denominada ponteira conta com um anel cortante biselado na boquilha com a função de facilitar a penetração do dispositivo no solo.

Oposta a ponteira, sua outra extremidade, conta com uma peça de rosca para a amarração ao trem de varas que estabelece a ligação até a superfície, onde são aplicadas as pancadas, dotado de uma válvula de esfera antirretorno e de orifícios laterais para remoção do ar e da água durante o processo de cravação, conforme a Figura 2.

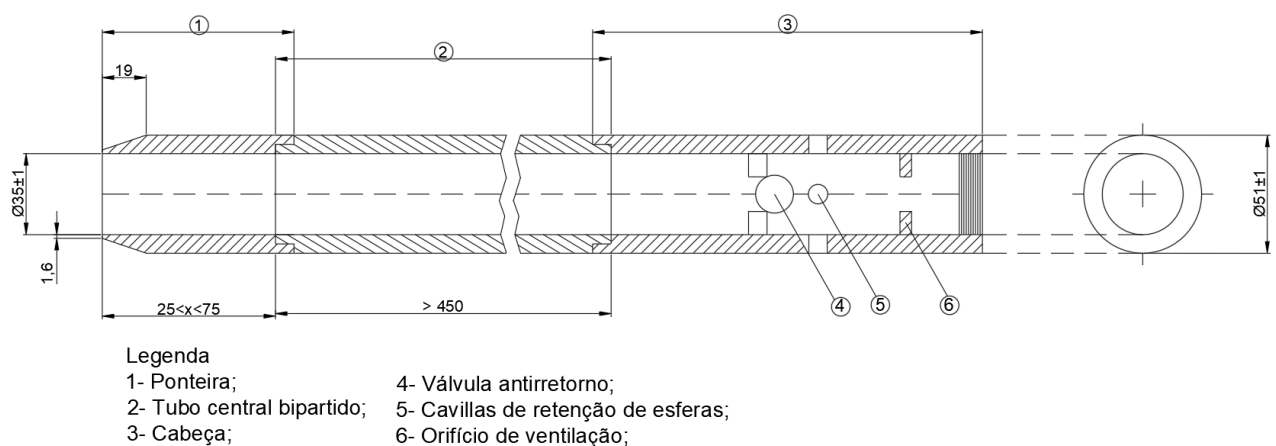


Figura 2- Secção longitudinal do amostrador SPT, dimensões em mm (adaptado, EN ISO 22476-3,2006)

As varas de aço devem possuir massa igual ou inferior a 10kg/m, devem ter rigidez suficiente para evitar a encurvadura das mesmas durante a execução do ensaio, sendo periodicamente inspecionadas para verificar o desvio relativo de cada barra, que não devem superar 1/1200 m, medindo ao longo de todo o seu comprimento.

Atualmente as normas contemplam os dispositivos automáticos de queda, estes garantem que os golpes são aplicados com a mesma frequência e altura de queda do martelo. O dispositivo de queda é constituído por três partes, e seu peso não deve exceder os 115kg.

- Batente: constituído em aço maciço, conta com uma superfície lisa de modo a assegurar a transferência total de energia para o martelo.
- Martelo: também designado por pilão, sua massa deve ser de $63,5 \pm 0,5$ kg;
- Sistema de elevação do martelo: sistema de elevação do martelo até uma altura de 760 ± 10 mm.

A execução do ensaio SPT pode ser dividida em 2 fases, que consistem em três penetrações sucessivas de 15 cm do amostrador, a primeira fase com uma penetração (15 cm) e a segunda com as duas restantes (30 cm), conforme se indicado na Figura 3.

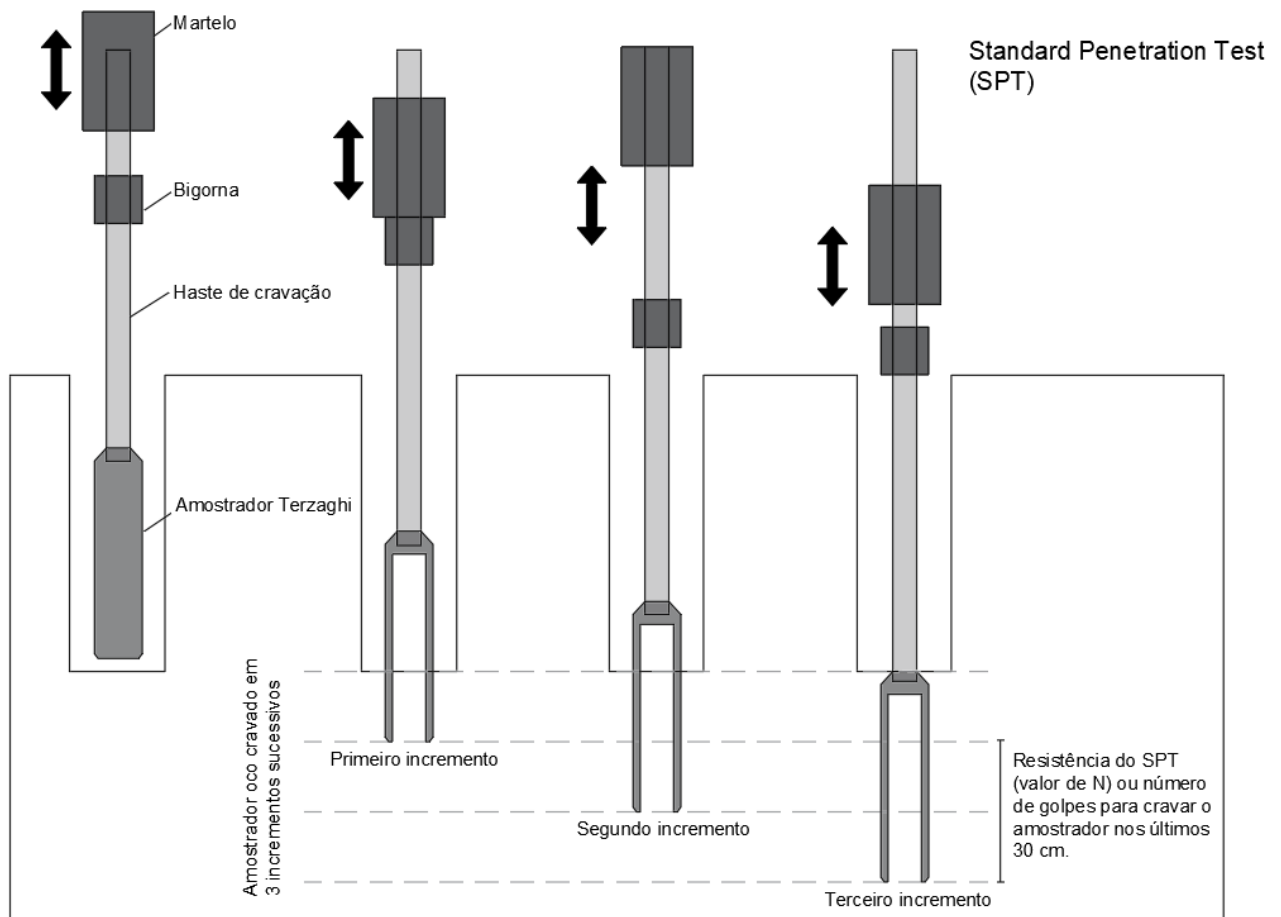


Figura 3- Esquema de execução do ensaio SPT, mm (adaptado, EN ISO 22476-3,2006)

Inicialmente efetua-se o furo de sondagem à cota de execução do ensaio, o amostrador é posicionado na base do terreno da sondagem e crava-se 15 cm no solo, sendo o valor obtido nesta primeira fase utilizado apenas indicativamente, uma vez que o amostrador está ultrapassando a camada de solo remexido do processo de perfuração.

Durante a segunda fase do ensaio, o amostrador é cravado por mais 30 cm, sendo esta fase subdividida duas etapas de 15 cm cada. O número total de pancadas para penetrar os 30 cm é considerado o resultado do ensaio, sendo este valor designado por N_{SPT} . Esta divisão em duas etapas ocorre de forma a detectar eventuais heterogeneidades significativas no total dos 30 cm, sejam elas camadas de compactidade significativamente diferente ou blocos de rocha soltos.

Segundo a norma EN ISO 22476-3, caso na primeira fase do ensaio o número de golpes atinge os 50 sem que se verifique a penetração dos 15 cm, ou o mesmo durante a execução da segunda fase na penetração dos 30 cm do amostrador, a cravação é interrompida, registrando-se o comprimento de penetração verificado.

Uma vez terminadas as fases do ensaio, recolhe-se o amostrador, sendo este aberto em duas meias canas para a colheita da amostra do solo, conforme a Figura 4, as amostras recolhidas são identificadas para posteriormente serem analisadas. O ensaio volta a ocorrer na próxima profundidade determinada, em regra, normalmente com espaçamentos de 1,5 m ou inferior.



Figura 4- Equipamento do ensaio SPT (amostrador normalizado de Terzaghi e dispositivo automático de queda)

2.2.1.2- Fatores com influência nos resultados do ensaio SPT

Os fatores que influenciam no valor do N_{SPT} podem ser classificados como provenientes do equipamento, dos procedimentos ou das condições do solo. Além dos citados, a interferência humana também pode afetar o desempenho e a interpretação do ensaio. A seguir lista-se alguns fatores normalizados, a fim de diminuir o impacto nos resultados.

Com relação aos equipamentos:

- Tipo de martelo, massa e altura do mesmo, diâmetro da vara de guiamento e suas condições de lubrificação, verticalidade do martelo durante as pancadas;
- Massa do batente e diâmetro de impacto;
- Frequência das pancadas;
- Tipo de varas de sondagem, com especial enfoque à sua massa e comprimento;

- Diâmetro do revestimento e condições de colocação;
- Amostrador: diâmetro, rugosidade externa e interna, forma e estado da boquilha, área e condições de limpeza das válvulas de antirretorno.

Com relação aos procedimentos:

- Técnica de perfuração;
- Uso de circulação de água na perfuração acima do nível freático;
- Avanço, limpeza e estabilidade do furo;
- Profundidade do furo e posição relativa do revestimento;
- Intervalo de tempo entre perfuração e execução do ensaio;
- Espaçamento entre ensaios;
- Profundidade de execução do ensaio;
- Erros de contagem, medidas e notas de ocorrência.

Com relação as condições do solo:

- Tipo de solo ou rocha;
- Resistência;
- Compacidade relativa ou consistência;
- Permeabilidade;
- Grau de saturação;
- Fábrica do solo ou rocha;
- Posição dos níveis freáticos e posição relativa do nível de água no furo de sondagem.

A Tabela 6 apresenta alguns fatores que influenciam nos valores de N_{SPT} estudados por Cavalcante (2002).

Tabela 6- Fatores que podem causar alterações aos resultados SPT, (Cavalcante, 2002)

Causas	Efeito	Influência no valor de N_{SPT}
Limpeza dos furos inadequada	O ensaio não é realizado sobre o solo natural	Aumenta ou diminui
Não manutenção do nível adequado da água no furo	Instabilidade do fundo do furo	Diminui
Altura de queda inadequada	Energia varia	Aumenta ou diminui
Massa do martelo inadequada	Energia varia	Aumenta ou diminui
Sistema de golpeio excêntrico	Redução de energia	Aumenta
Queda do martelo condicionada	Redução de energia	Aumenta
Ensaio iniciado acima do pé do revestimento	Amostrador cravado em solo compactado artificialmente	Aumenta muito significativamente
Pouco cuidado na leitura de N_{SPT}	Resultados pouco precisos	Aumenta ou diminui
Utilização de amostradores não padronizados	Correlações não válidas	Aumenta ou diminui
Solos cascalhentos	Amostrador obturado e ou encravado	Aumenta
Utilização de varas flexíveis	Transmissão de energia ao amostrador deficiente	Aumenta

Na Tabela 7, estão elencadas as interferências que o tipo e o estado do solo podem causar na interpretação do ensaio SPT (Nunes Veiga, 2011).

Tabela 7- Interferências causadas por tipo ou estado do solo (Nunes Veiga, 2011)

Tipo e estado do solo	Interferência no ensaio
Solos submersos e muito permeáveis	Geralmente descomprimem-se e o valor de N obtido é muito inferior ao real.
Solos granulares finos (areias e siltes) submersos	Além da descompressão, podem liquefazer, pelo que o valor de N obtido é muito inferior ao real a liquefação destes solos ocorre facilmente porque estão submersos e a pancada do pilão provoca vibração, causando liquefação.
Solos granulares soltos	O valor de N é menor que o real, porque o peso das varas contribui para a penetração.
Areias compactas	O valor de N é maior que o real, porque o efeito dinâmico de transferência de impacto, vibração e flambagem das hastes diminui substancialmente a energia de queda do pilão.
Seixos	O N poderá ser muito maior que o real se os seixos obstruírem a boca ou penetrarem no amostrador (será fácil verificar após o ensaio).
Solos argilosos ou siltosos subconsolidados	O ensaio não deve ser realizado porque a energia de impacto é demasiado elevada e N é sempre inferior ao real a água serve como elemento lubrificante devem-se utilizar outros métodos para obter a resistência dos solos.
Argilas sobreconsolidadas	N poderá ser muito maior que o real, porque a água que satura os poros dessas argilas poderá ser elemento resistente ao impacto do amostrador, pelo facto da sua permeabilidade ser baixíssima.
Solos com alta percentagem de micas	N poderá ser muito mais baixo pelo facto das micas servirem como elemento lubrificante à penetração do amortador.
Solos cimentados	N será muito maior que o real.
Solos congelados	O valor de N será muito superior ao real e não terá significado.

- Eficiência do ensaio SPT

Na realização de um ensaio SPT, a energia potencial disponível quando o martelo é erguido (E_p), é transformada em energia cinética após ser largado em queda livre. Contudo, deve-se considerar a existência de perdas de energia durante o processo, devido as condições de operação, o tipo de martelo, a altura de queda, inclinação e lubrificação do sistema de queda. Portanto no momento do impacto do martelo, a velocidade será menor se comparada ao início da queda livre.

Do mesmo modo, ocorrem perdas de energia no instante do impacto do martelo com o batente. A energia cinética disponível no sistema não é completamente convertida em energia cinética e elástica, o que pode ser decorrente do mau contato entre as superfícies, desalinhamento das mesmas, etc.

O conceito de eficiência no ensaio SPT é definido como sendo a relação entre a energia cinética e a energia potencial.

É de grande importância que se determine a energia disponível no equipamento utilizado a fim de avaliar sua eficiência, pois podem ocorrer variações de eficiência entre os vários dispositivos existentes.

Para determinar a energia transmitida às varas, dispõe-se de três métodos. Os métodos E2F e EF2 baseiam-se na energia transmitida, obtida com registro dos valores de força, sendo que no último caso a força medida é multiplicada ao quadrado.

Já no terceiro método, conhecido com EFV, a energia é medida utilizando os valores de força e velocidade da partícula em função do tempo. Para tanto é requerida instrumentação específica, que consiste em acelerômetros (para medir a variação da velocidade ao longo da propagação da onda de choque, v) e extensômetros (para obter os valores de força, F), interligados à um sistema de processamento de dados (Cavalcante, 2002).

2.2.1.3- Correções ao valor do N_{SPT}

Para a devida utilização do valor N_{SPT} a norma EN ISO 22476-3: 2006, recomenda um conjunto de correções a serem adotadas ao número obtido diretamente do ensaio SPT, estas têm como principal objetivo corrigir e normalizar os resultados do ensaio.

Os fatores que devem ser corrigidos compreendem a energia transmitida ao trem de varas (C_E), os efeitos do comprimento do trem de varas (C_R), os efeitos causados pelos diferentes diâmetros nos furos (C_D) e as alterações causadas devido ao nível de tensões efetivas à profundidade do ensaio (C_N).

Como resultado da aplicação das correções, obtém-se o $(N_1)_{60}$, que representa o valor normalizado e corrigido para uma tensão vertical de 1 atmosfera, para solos granulares obtida conforme a equação 1.

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_R \cdot C_D \cdot C_N \quad (1)$$

Onde:

- N_{SPT} – Valor obtido diretamente do ensaio SPT;
- $(N_1)_{60}$ – Valor de N_{60} normalizado para uma tensão efetiva de repouso de 1 atmosfera;
- C_E – Coeficiente corretivo relacionado com a energia transmitida ao trem de varas;
- C_R – Coeficiente corretivo relacionado com o comprimento do trem de varas;
- C_D – Coeficiente corretivo relacionado com o diâmetro do furo;
- C_N – Coeficiente corretivo relacionado com o efeito da sobrecarga em solos arenosos.

Usualmente adota-se a simplificação da equação 1, o que ocorre devido a divergências entre os autores a respeito dos coeficientes relacionados ao comprimento do trem de varas (C_R) e do diâmetro do furo (C_D), sendo estes coeficientes desprezados por diversos autores, adotado a estes um valor unitário.

Desta forma, a equação 2 apresenta as simplificações realizadas.

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_N \quad (2)$$

Para solos não granulares utiliza-se o valor obtido no ensaio corrigido para um aparelho com eficiência de energia de cravação de 60% (N_{60}), deixando de utilizar o coeficiente corretivo do efeito de sobrecarga em solos arenosos (C_N), este último aplicado somente a solos granulares.

Utilizando das simplificações já mencionadas, vem a equação 3.

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \quad (3)$$

Onde:

- N_{60} – valor de N considerando a energia de referência de 60%.

A seguir é descrito brevemente como se obtém cada um dos fatores de correção.

- Energia transmitida ao trem de varas

A energia transmitida ao trem de varas é corrigida devido as perdas de energia no dispositivo de disparo do martelo, relacionadas ao tipo de martelo e batente utilizados, entre outros fatores, as perdas energéticas podem tornar o disparo em cada golpe inferiores a energia potencial (E_p) do martelo antes da queda.

Estudos de diversos autores, levaram a conclusão de que a energia transmitida ao trem de varas pelo mecanismo do ensaio SPT com disparo automático do martelo é de aproximadamente 60% da energia potencial, enquanto em sistemas de liberação manuais este valor reduz para a ordem de 45%.

Devido as perdas energéticas relacionadas diretamente ao equipamento utilizado, a norma EN ISO 22476-3:2006 considera o coeficiente de energia (C_E), que utiliza um valor de referência da eficiência do equipamento de 60% considerada por Skempton (1986), o que possibilita a comparação dos resultados do ensaio, independentemente do equipamento utilizado.

$$E_r = \frac{E'}{E_p} \cdot 100 \quad (4)$$

$$C_E = \frac{E_r}{60} \quad (5)$$

Onde:

- E_p – Energia potencial ($E_p = 48.26 \text{ kgm}$ ou $E_p = 474 \text{ J}$);
- E_r – Relação de energias do equipamento de ensaio utilizado;
- E' – Energia de impacto transmitida ao trem de varas.

Utilizando da relação energética do equipamento de ensaio (E_r), obtida na equação 4, analisa-se diretamente a capacidade do equipamento em transmitir a energia de impacto (E').

Ressalta-se que o uso de mecanismos de disparo automático do martelo, causam uma eficiência na ordem dos 60%, logo o fator de correção (C_E) toma um valor unitário, o que em significa que o valor obtido diretamente do ensaio (N_{SPT}) corresponde ao valor padrão (N_{60}).

- Comprimento do trem de varas e diâmetro do furo

A correção referente ao comprimento do trem de varas, utiliza-se de um coeficiente minorativo (C_L), uma vez que estudos dinâmicos apontaram que a energia aplicada em cada golpe do martelo só é absorvida em sua totalidade pelo trem de varas quando o comprimento deste é tal que o peso do trem de varas é superior ou igual ao peso do martelo. O coeficiente pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8- Coeficiente corretivo devido o comprimento do trem de varas, C_R (Skempton, 1986)

Comprimento das hastes (m)	Coeficiente corretivo, C_R
10	1,0
6 - 10	0,95
4 - 6	0,85
3 - 4	0,75

O coeficiente corretivo para o diâmetro do furo de sondagem, relaciona diretamente o diâmetro do furo de sondagem com a profundidade abaixo do fundo do furo ao qual pode se verificar perturbações do solo, de forma a corrigir esta distorção utiliza-se o coeficiente (C_D), apresentado na Tabela 9.

Tabela 9- Coeficiente corretivo para o diâmetro do furo de sondagem, C_D (Skempton, 1986)

Diâmetro do furo (mm)	Coeficiente corretivo, C_D
65 - 115	1,0
150	1,05
200	1,15

- Efeito da sobrecarga em solos arenosos

Em solos arenosos é considerado ainda o efeito da sobrecarga a profundidade do ensaio, em que o valor relativo ao número de golpes aumenta de acordo com a profundidade do ensaio. Considerando este efeito, foi estabelecido o conceito de resultado normalizado, N_1 , o resultado que seria obtido com um sistema de um solo para uma tensão efetiva vertical de repouso igual a 1 atmosfera.

Assim o resultado normalizado, N_1 é obtido através da aplicação do fator corretivo (C_N) apresentado na Tabela 10, determinado a partir do tipo de consolidação e da compacidade relativa.

Tabela 10- Coeficiente corretivo em função do tensão vertical, C_N (Skempton, 1986)

Tipo de consolidação	Compacidade relativa I_p (%)	Fator de correção C_N
Normalmente consolidado	40 a 60	200 ($100+\sigma'_v$)
	60 a 80	300 ($200+\sigma'_v$)
Sobreconsolidado	–	170 ($70+\sigma'_v$)

Para solos arenosos normalmente consolidados é corrente o uso da expressão 6 para calcular C_N :

$$C_N = \left(\frac{98,5 \text{ kPa}}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,5} \quad (6)$$

Onde, σ'_{v0} a tensão efetiva vertical à profundidade a que N_{60} foi obtido.

Sendo esta última expressão de natureza empírica proposta por Liao e Whitman (1985), baseada em resultados de ensaios com câmaras de calibração.

A norma EN ISO 22476-3:2006 ainda refere que os valores do fator corretivo em questão não devem ser aplicados caso superem 2, e conclui que preferencialmente o valor deve estar abaixo de 1,5.

2.2.1.4- Correlações de N_{SPT} com as características e parâmetros do solo

A vasta utilização do SPT tem permitido uma série de correlações entre os resultados dos ensaios e os parâmetros geotécnicos, dentre eles:

- Densidade relativa (D_r), tendo em conta a influência da profundidade;
- Compacidade para solos granulares e consolidação para solos coesivos;
- Ângulo de atrito em solos granulares (ϕ);
- Velocidade de propagação das ondas sísmicas ou ondas de corte (V_s).

Além destes, existem outras correlações associadas a parâmetros de deformabilidade, entretanto, como evidenciado por Johnston em 1983 o ensaio SPT apresenta limitações neste sentido, principalmente por consistir em um ensaio de resistência que solicita o solo a um estado de ruptura, obrigando a assumir assim uma relação constante entre a resistência e a deformabilidade do solo, o que do ponto de vista desse autor, conduz a desvios acentuados em relação a situação real.

As correlações entre os parâmetros geotécnicos dos solos devem ser encaradas como correlações qualitativas e não tanto como quantitativas, isto devido ao elevado nível de perturbação, resultante do tipo de cravação, tornando-se assim demasiado grosseiras (Santos, 2008).

- Índice de compacidade, I_D

O índice de compacidade, I_D utilizado para quantificar o grau de imbricamento das partículas de solo sendo aplicável exclusivamente em solos granulares com menos de 15% de finos, variando de 0 a 100% este parâmetro fornece informações relativas a compressibilidade de um determinado solo, sendo que quanto maior for o índice de compacidade menos compressível será o solo. A seguinte expressão determina o índice de compacidade.

$$I_D = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mín}} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

- e – Índice vazios natural, sendo o índice de vazios que um determinado solo arenoso exhibe in situ;
- $e_{máx}$, $e_{mín}$ – Índices de vazios máximo e mínimo, determinados experimentalmente.

As correlações entre o índice de compacidade e os valores obtidos com o ensaio SPT, tiveram início com uma publicação de Terzaghi e Peck (1948), sendo válida para areias quartzosas de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11- Correlação entre N e I_D em areais (Terzaghi e Peck, 1948, citado por IGEOTEST, 2004)

N	Compacidade	I_D (%)
4	Muito solta	20
4-10	Solta	20-40
10-30	Medianamente densa	40-60
30-50	Densa	60-80
50	Muito densa	80-100

Posteriormente Skempton (1986) realizou alterações para ter em conta as normalizações do valor de N , $(N_1)_{60}$ conforme a Tabela 12, sendo válida em areias normalmente consolidadas.

Entretanto, as elevadas forças de compressão dinâmicas causadas pelo ensaio, limitam o intervalo de valores normalizados para uso na correlação a $(N_1)_{60} < 60$.

Tabela 12- Correlação entre N e I_D em areias (Skempton, 1986, citado por citado por Matos Fernandes, 2011)

$(N_1)_{60}$	Compacidade	I_D (%)
0-3	Muito solta	0-15
3-8	Solta	15-35
8-25	Medianamente densa	35-65
25-42	Densa	65-85
42	Muito densa	85-100

Notas:

Para $I_D \geq 0,35$, $(N_1)_{60}/I_D^2 = 60$;

Para areias grossas N deve ser reduzido multiplicando pelo fator 55/60;

Para areias finas N deve ser majorado multiplicando pelo fator 65/60.

Foi estabelecida por Terzaghi e Peck (1967) uma relação entre a resistência a compressão simples (q_u) correlacionada ao valor N ou a consistência dos solos finos, conforme a Tabela 13.

Tabela 13- Relação entre a consistência de argilas, N e q_u (Terzaghi e Peck, 1967)

N	Consistência	q_u (kg/cm ²)
2	Muito mole	0,25
2-4	Mole	0,25-0,50
4-8	Média	0,50-1,00
8-15	Dura	1,00-2,00
15-30	Muito dura	2,00-4,00
30	Ri a	4,00

Após os trabalhos de Terzaghi e Peck mencionados anteriormente, Gibbs e Holtz (1957) demonstraram que o valor N não depende apenas do valor da densidade relativa, mas também da tensão efetiva vertical. Na Figura 5 é apresentado a comparação entre o ábaco de Gibbs e Holtz com o trabalho de Terzaghi e Peck realizada por Coffman (1960).

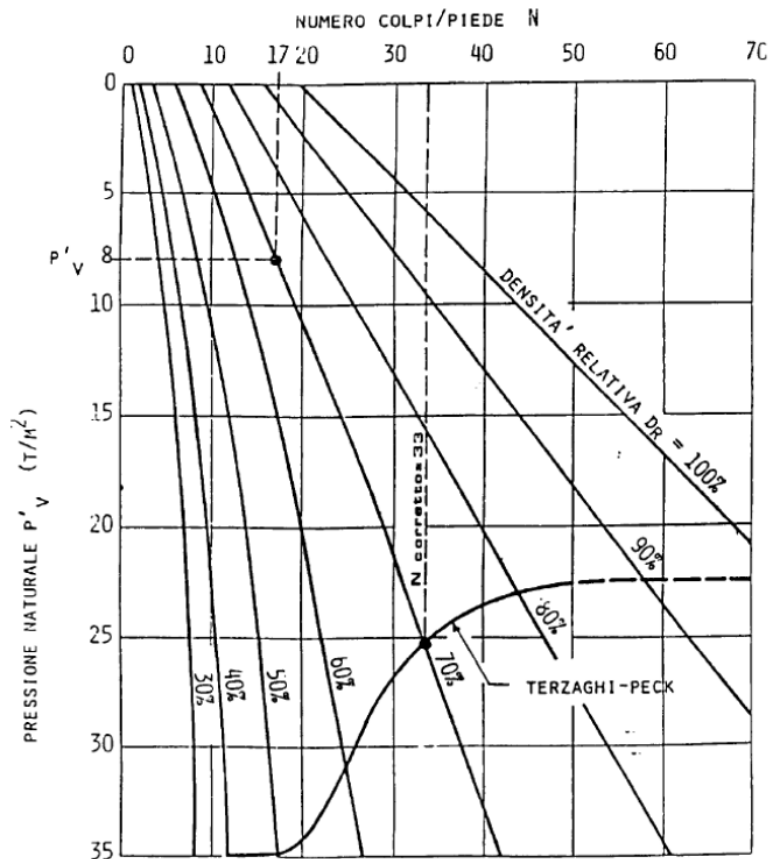


Figura 5- Comparação entre o ábaco de Gibbs y Holtz (1957) com o de Terzaghi e Peck (1948) elaborado por (Coffman 1960, citado por IGEOTEST, 2004).

Por conseguinte, ao aplicar este ábaco nesses casos, é necessário considerar (Cestari, 1990, citado por IGEOTEST, 2004):

- Para valores de $I_D < 70\%$, os valores obtidos do ábaco são superiores aos reais;
- Para valores baixos de tensão efetiva vertical (< 5 kPa), o índice de compactação é demasiado alto,
- A sua utilização não é apropriada para valores de $N < 10$.

Para a aplicação deste ábaco é necessário ter em conta também a compressibilidade dos solos arenosos. Uma vez que o aumento de mica ou carbonato, por exemplo, faz que um solo arenoso seja mais compressível.

A partir do ábaco de Gibbs e Holtz diversos autores realizaram análises estatísticas, sugerindo ajustes a correlação através de expressões. Autores estes como Mayerhof (1957) e Giuliani e Nicoll (1982).

Mayerhof (1957) ajustando os ábacos de Gibbs e Holtz, obteve a expressão 8.

$$I_D = \sqrt{\frac{N}{23 \cdot \sigma'_{v0} + 16}} \quad (8)$$

Onde:

- σ'_{v0} – Tensão efetiva vertical (kgf/cm²)

Giuliani e Nicoll (1982) também relativamente aos ábacos de Gibbs e Holtz propuseram a seguinte relação:

$$\frac{I_D}{100} = 1,5 \cdot \left(\frac{N}{F}\right)^{0,222} - 0,6 \quad (9)$$

Sendo F:

$$F = 0,0065 \cdot \sigma'_{v0}{}^2 + 1,68 \cdot \sigma'_{v0} + 14 \quad (10)$$

Onde:

- σ'_{v0} – Tensão efetiva vertical (t/m²)

Relativamente ao trabalho de Bazaraa (1967), foi proposto por estes mesmos autores a seguinte expressão.

$$\frac{I_D}{100} = 0,2236 \cdot \sqrt{\frac{N}{a + b \cdot \sigma'_{v0}}} \quad (11)$$

Onde:

σ'_{v0}	a	b
< 15 t/m ²	1	0,2
> 15 t/m ²	3,25	0,05

Por fim, Giuliani e Nicoll propuseram:

$$\frac{I_D}{100} = \frac{\sqrt{N}}{4,188 + 0,639 \cdot \sigma'_{v0}{}^{0,606}} \quad (12)$$

Onde:

- σ'_{v0} – Tensão efetiva vertical (t/m²)

Segundo Skempton (1986), a informação disponível até ao momento, conclui que as correlações originais de Terzaghi e Peck são perfeitamente válidas desde que se utilize os valores normalizados (N₁)₆₀.

A técnica do ensaio, granulometria, a composição e a forma das partículas são fatores que podem influenciar na correlação, segundo Marcuson et al., 1977 citado por IGEOEST, 2004, as maiores divergências observam-se para valores elevados do índice de compactação.

- Ângulo de atrito

O ângulo de atrito, ϕ , dos materiais granulares, pode ser estimado pelo ensaio SPT de forma indireta através de valores estimados do índice de compactação, I_D , ou diretamente a partir do valor N_{SPT} , a seguir apresenta-se algumas correlações indiretas para o ângulo de atrito.

Meyerhof (1956) propôs a seguinte correlação utilizando a porcentagem de areia fina e limo.

Para > 5% de areia fina e limo:

$$\phi = 25 + 0,15 \cdot I_D \quad (13)$$

Para < 5% de areia fina e limo:

$$\phi = 30 + 0,15 \cdot I_D \quad (14)$$

Burmister (1948) propôs correlações entre o índice de compactação, I_D e o ângulo de atrito, ϕ em função da granulometria do solo, apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14- Correlação ente I_D e ϕ , em função da granulometria (Burmister, 1948)

Correlação	Granulometria
$\phi = 38 + 0,08 \cdot I_D$	Gravilha uniforme
$\phi = 34,5 + 0,1 \cdot I_D$	Areia grossa
$\phi = 31,5 + 0,115 \cdot I_D$	Areia média
$\phi = 28 + 0,140 \cdot I_D$	Areia fina

Utilizando de métodos de análise estatísticas Giuliani e Nicoll (1982) propuseram a seguinte expressão, esta não sendo válida para as areias finas limosas com baixos valores de N.

$$\text{tg}(\phi) = 0,575 + 0,361 \cdot I_D^{0,866} \quad (15)$$

De forma a evitar as aproximações através de duas correlações, diversos autores propuseram correlações diretas entre o valor N_{SPT} e o ângulo de atrito, como a proposta por Muromachi (1974) expressa na equação a seguir.

$$\phi = 20 + 3,5 \cdot \sqrt{N} \quad (16)$$

A Tabela 15 apresenta as correlações do valor de NSPT e parâmetros básicos de solos granulares classificados de acordo com o critério de Casagrande proposta por Hunt (1984).

Tabela 15- Propriedades comuns dos solos não coesivos (Hunt, 1984)

Material	Compacidade	I_D (%)	N_1	Peso volúmico seco γ_d (g/cm ³)	Índice de vazios e	Ângulo de atrito ϕ
G : Cascalho bem graduado , mistura de cascalho e de areia	Densa	75	90	2,21	0,22	40
	Medianamente densa	50	55	2,08	0,28	36
	Solta	25	28	1,97	0,36	32
GP: Cascalho mal graduado , mistura de cascalho e de areia	Densa	75	70	2,04	0,33	38
	Medianamente densa	50	50	1,92	0,39	35
	Solta	25	20	1,83	0,47	32
S : Areias bem graduadas, areias com cascalho	Densa	75	65	1,89	0,43	37
	Medianamente densa	50	35	1,79	0,49	34
	Solta	25	15	1,70	0,57	30
SP: Areias mal graduadas, areias com cascalho	Densa	75	50	1,76	0,52	36
	Medianamente densa	50	30	1,67	0,60	33
	Solta	25	10	1,59	0,65	29
SM: Areias siltsosas	Densa	75	45	1,65	0,62	35
	Medianamente densa	50	25	1,55	0,74	32
	Solta	25	8	1,49	0,80	29
ML: Siltes inorgânicos, areias muito finas	Densa	75	35	1,49	0,80	33
	Medianamente densa	50	20	1,41	0,90	31
	Solta	25	4	1,35	1,00	27

Tendo por base a correlação apresentada por Terzaghi e Peck (1967) para o índice de compacidade, I_D , em solos granulares, Meyerhof (1956) apresenta a relação expressa na Tabela 16, entre N_{SPT} , ângulo de atrito (ϕ) e a resistência de ponta (q_c) resultado do ensaio CPT, apresentando assim uma das primeiras correlações entre os ensaios SPT e o CPT.

Tabela 16- Relação entre I_D , q_c e ϕ para solos granulares (Meyerhof, 1956, citado por Lopes, 2001)

Compacidade	I_D	N_{SPT}	ϕ	q_c (kg/cm ²)
Muito solto	0,2	4	30	20
Solto	0,2-0,4	4-10	30-35	20-40
Médio	0,4-0,6	10-30	35-40	40-120
Denso	0,6-0,8	30-50	40-45	120-200
Muito denso	0,8	50	45	200

Kulhawy e Mayne (1990) propuseram uma aproximação à obtenção de ϕ a partir de N de acordo com a equação 17.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{N}{12,2 + 0,2 \cdot \sigma'_v} \right)^{0,34} \quad (17)$$

Hatanaka e Uchida (1996) apresentaram estudos com amostras de areias congeladas, posteriormente submetidas a descongelamento e a ensaios triaxiais de modo a obter o ângulo de atrito de pico. Utilizando os resultados normalizados dos ensaios SPT obtidos em furos adjacentes aos da amostragem, foi estabelecida a correlação apresentada na equação 18.

$$\phi = [15,4 \cdot (N_1)_{60}]^{0,5} + 20 \quad (18)$$

A Tabela 17 mostra uma correlação entre o índice de compactidade e ângulo de resistência ao corte de areias de quartzo (US Army Corps of Engineers, 1993, citado por Matos Fernandes, 2011).

Tabela 17- Correlação entre I_D e o ângulo de resistência ao corte de areias de quartzo (US Army Corps of Engineers, 1993, citado por Matos Fernandes, 2011).

I_D (%)	ϕ' , areias finas		ϕ' , areias médias		ϕ' , areias grossas	
	Uniformes	Bem graduadas	Uniformes	Bem graduadas	Uniformes	Bem graduadas
40	34	36	36	38	38	41
60	36	38	38	41	41	43
80	39	41	41	43	43	44
100	42	43	43	44	44	46

- Módulo de deformabilidade, E

O módulo de deformabilidade, E, assim como os outros parâmetros do solo obtiveram diversas propostas publicadas de correlações com os resultados SPT.

Blight (1997) apresenta uma correlação do valor N_{SPT} e o módulo de deformabilidade, E, indicando seu uso para solos residuais de acordo com a equação 19.

$$E(\text{MPa}) = 1,6 \cdot N \quad (19)$$

Sandroni (1991) utilizou os resultados de ensaios de carga em placa em solos residuais de gnaiss com a finalidade de obter o valor de E para estes solos, como mostrado da Figura 6.

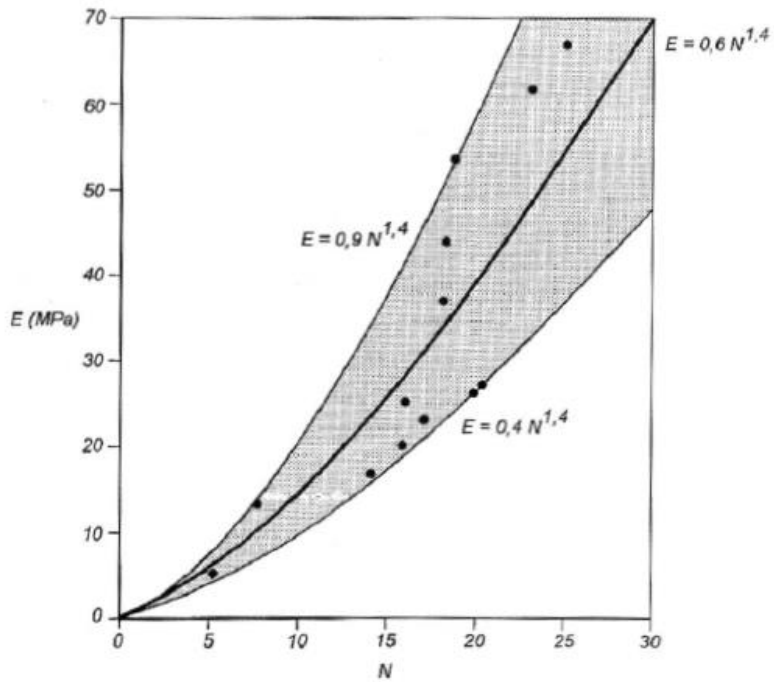


Figura 6- Relações de E com o N para solos residuais Sandroni (1991)

Clayton (1986), utilizando os dados de Burland e Burbidge (1985) obteve as correlações apresentados na Tabela 18.

Tabela 18- Correlações entre $E(MPa)$ e $N_{SPT}(N_{60})$ para solos arenosos (Clayton ,1986, citado por Filho, 2010)

N	Média	Limite inferior	Limite superior
4	1,6 - 2,4	0,4 - 0,6	3,5 - 5,3
10	2,2 - 3,4	0,7 - 1,1	4,6 - 7,0
30	3,7 - 5,6	1,5 - 2,2	6,6 - 10,0
60	4,6 - 7,0	2,3 - 3,5	8,9 - 13,5

Bowles (2001) apresenta diversas correlações entre o valor N_{SPT} com o módulo de deformabilidade, E , conforme indicado na Tabela 19.

Tabela 19- Correlações entre E (kPa) e N_{SPT} (N_{55}) para diversos solos (Bowles, 2001 citada por Afonso, 2016).

Tipo de Solo	SPT
Areia normalmente consolidada	$E = 500 \cdot (N_{SPT} + 15)$
	$E = 7000 \cdot \sqrt{N_{SPT}}$
	$E = 6000 \cdot N_{SPT}$
	$E = (15000 \text{ a } 22000) \cdot \ln N_{SPT}$
Areia Saturada	$E = 250 \cdot (N_{SPT} + 15)$
Areia sobreconsolidada	$E = 40000 + 1050 \cdot N_{SPT}$
Cascalho arenoso	$E = 1200 \cdot (N_{SPT} + 6)$
	$E = 600 \cdot (N_{SPT} + 6)$ $N_{SPT} \leq 15$
	$E = 600 \cdot (N_{SPT} + 6) + 2000$ $N_{SPT} > 15$
Areia Argilosa	$E = 320 \cdot (N_{SPT} + 15)$
Areia siltosa	$E = 300 \cdot (N_{SPT} + 6)$

- Solos coesivos

Os solos coesivos ou solos argilosos, apresentam pressões intersticiais que se geram no momento da penetração do amostrador, os atritos gerados afetam substancialmente os resultados, causando a dispersão das correlações em solos coesivos significativamente maiores do que em solos granulares, o que torna o uso destas correlações recomendável apenas como fator indicativo.

Pode ser verificada na Figura 7, a dispersão de resultados entre o valor N_{SPT} e a resistência a compressão simples de solos argilosos segundo a NAVFAC, 1971.

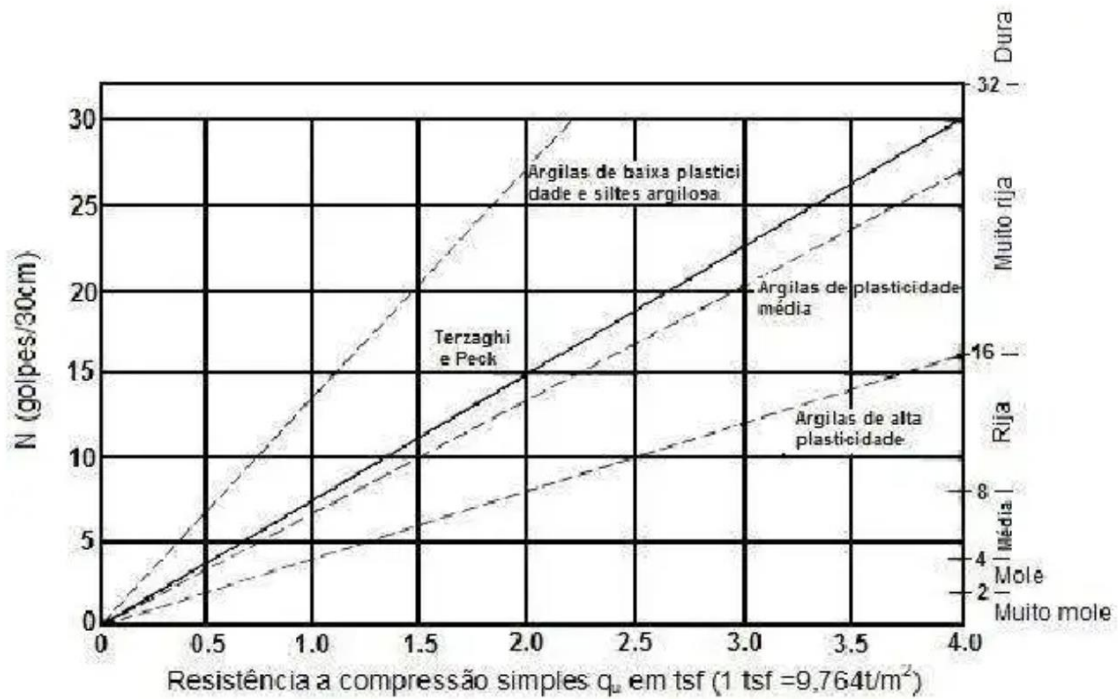


Figura 7- Valores da resistência à compressão simples a partir do N_{SPT} para solos coesivos de diferente plasticidade (NAVFAC, 1971 adaptado por Bondo e Carvalho, 2011).

A Tabela 20 inclui uma classificação dos solos argilosos quanto à consistência proposta por Clayton et al. (1995).

Tabela 20- Relação entre o N_{60} e a consistência de argilas (Clayton et al., 1995, citado por Matos Fernandes, 2011)

N_{60}	0 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	30 - 60	60
Consistência	muito mole	mole	firme	ri a	muito ri a	dura

A Tabela 21 apresenta correlações entre N_{SPT} , a densidade saturada e a resistência à compressão simples, segundo a adaptação de Hunt (1984) aos trabalhos de Terzaghi e Peck (1948).

Tabela 21- Propriedades dos solos argilosos (Hunt, 1984 citado por IGEOTEST, 2004)

Consistência	N	Identificação manual	γ_{sat} (g/cm ³)	q_u (kg/cm ²)
Dura	30	Marca-se dificilmente	2,0	4,0
Muito rígida	15-30	Marca-se com a unha do polegar	2,08-2,24	2,0-4,0
Rígida	8-15	Marca-se com o polegar	1,92-2,08	1,0-2,0
Média	4-8	Moldável através de press es fortes	1,76-1,92	0,5-1,0
Branda	2-4	Moldável através de press es fracas	1,60-1,76	0,25-0,5
Muito branda	2	Desfaz-se entre os dedos	1,44-1,60	0-0,25

2.2.2- Penetrómetros dinâmicos (DP)

O método de penetração dinâmica é utilizado há muitos anos na investigação e estudo do solo, sendo um meio simples e rápido para obter parâmetros geotécnicos *in situ*.

O ensaio com penetrómetros dinâmicos consiste em cravar no terreno um conjunto formado por um batente, um trem de varas e uma extremidade cônica, através da ação da massa de um martelo em queda livre. A resistência à penetração é definida como o número de golpes, N , necessários para cravar o penetrómetro no solo em um determinado comprimento. Em teoria, a resistência à penetração da superfície cônica é decorrente apenas de forças de reação do próprio terreno, uma vez que o diâmetro das varas é inferior ao da base cônica (Matos Fernandes, 2011).

Segundo a norma estabelecida pelo “ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing) – DP Working Party: 1988, existem quatro tipos de penetrómetros, classificados em função da energia de penetração:

- Ligeiros (ou leves): PDL (Dynamic Probing Light);
- Médios: DPM (Dynamic Probing Medium)
- Pesados: DPH (Dynamic Probing Heavy);
- Superpesados: DPSH (Dynamic Probing Super Heavy).

Na Tabela 22 os quatro tipos de penetrómetros estão classificados de acordo com a massa do martelo, segundo Matos Fernandes (2011).

Tabela 22- Tipos de penetrómetros dinâmicos (Matos Fernandes, 2011)

Tipo	Sigla	M, Massa do martelo (kg)
Ligeiro ou leve	DPL	$M \leq 10$
Médio	PDM	10 M 40
Pesado	DPH	$40 \leq M \leq 60$
Superpesado	DPSH	60 M

Em Portugal, os penetrómetros do tipo PDL e DPSH são os mais utilizados, seguindo a norma europeia EN ISO 22476-2:2005 para execução e análise dos procedimentos.

Os ensaios de penetração SPT e CPT são os mais conhecidos na área, e frente a estes, o ensaio DP surgiu como uma opção bastante competitiva por apresentar grande rendimento, possuir custo relativamente baixo e por ser simples e versátil na obtenção *in loco* do grau de compacidade ou consistência do solo e, por conseguinte sua capacidade de carga. Ao contrário

do SPT, como há o registro contínuo da resistência do solo, caracteriza-se por ser o método mais adequado para análise da posição do “firme” e como verificador de irregularidades do subsolo.

Além disso, este tipo de ensaio é uma alternativa viável para materiais que apresentem resistência à penetração por outros equipamentos, sendo possível utilizar nos mais variados solos, como argilas moles ou rijas, siltes, areias e cascalhos, e solos residuais.

Os ensaios com penetrômetros dinâmicos são comumente realizados na fase de prospecção, gerando dados qualitativos e quantitativos à cerca das características do subsolo. Desse modo, pode auxiliar na determinação das características e espessura de elementos de cobertura, identificação de irregularidades no subsolo, localização de níveis de grande rigidez e definição espacial de camadas irregulares (Rodrigues, 2003).

Nos casos onde existem dados geológicos (de sondagens da proximidade) os resultados podem ser correlacionados com as diferentes camadas de solos penetrados. Este tipo de ensaio é útil em construções de edifícios e fundação de estruturas.

Na Tabela 23 encontram-se especificadas as dimensões e massas dos 4 tipos de dispositivos para ensaio de penetração segundo a norma EN ISO 22476-2:2005, que regulariza os equipamentos e metodologias do ensaio.

Tabela 23- Dimensões e massas dos quatro tipos de dispositivos para ensaios de penetração dinâmica, (adaptado de EN ISO 22476-2:2005 por Afonso, 2016)

Dispositivos para ensaios de penetração dinâmica	Símbolo	Un.	DPL (ligeiro)	DPM (médio)	DPH (pesado)	DPSH (super pesado)	
						DPSH-A	DPSH-B
Dispositivo de queda							
Massa do martelo, M	m	kg	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 0,5	63,5 ± 0,5
Altura de queda, H	h	mm	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	750 ± 20
Batente							
Diâmetro	d	mm	50 < d < D _h ^a	50 < d < D _h ^a	50 < d < 0,5D _h ^a	50 < d < 0,5D _h ^a	50 < d < 0,5D _h ^a
Massa (máx.) incluindo barra guia	m	kg					
Cone de 90°							
Área nominal da base	A	cm ²	10	15	15	16	20
Diâmetro da base, nova	D	mm	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	45,0 ± 0,3	50,5 ± 0,5
Diâmetro da base, usada (min.)		mm	34	42	42	43	49
Comprimento da camisa cilíndrica	L	mm	35,7 ± 1	43,7 ± 1	43,7 ± 1	90,0 ± 2 ^b	51,0 ± 2
Comprimento da ponta cônica		mm	17,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	22,5 ± 0,1	25,3 ± 0,4
Desgaste máx. admissível da ponta		mm	3	4	4	5	5
Varas^c							
Massa (máx.)	m	kg/m	3	6	6	6	8
Diâmetro exterior (máx.)	d _e	mm	22	32	32	32	35
Desvio da vara ^d :							
nos 5 m inferiores		%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
nos restantes		%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Energia específica por pancada	E _n	kJ/m ²	50	100	167	194	238

a: D_h - diâmetro do martelo. Em caso de este ser de forma retangular, assume-se a menor dimensão como equivalente ao diâmetro.

b: Somente da ponta perdida.

c: O comprimento máximo das hastes não deve exceder os 2 m.

d: Desvio das hastes em relação à vertical.

Nota: As tolerâncias indicadas são as tolerâncias de fabrico.

Os resultados do ensaio podem ser influenciados por certas características do equipamento como:

- Diâmetro da extremidade cônica;
- Comprimento do trem de varas;
- Desvio das varas em relação à vertical;
- Perdas de energia do sistema de penetração.

A norma EN ISO 22476-2:2005 sugere que previamente à realização do ensaio sejam averiguados todos os componentes do equipamento, principalmente as dimensões da ponteira cônica, a verticalidade das varas e o funcionamento dos instrumentos de medição e registro. Durante o exercício do ensaio, deve-se atentar à verticalidade do trem de varas e do sistema de

penetração, sendo que possíveis desvios não devem exceder 2%. Ainda, como representado na Figura 8 a ponteira cônica deve fazer ângulo de 90° com o vértice, podendo ser recuperável ou perdida.

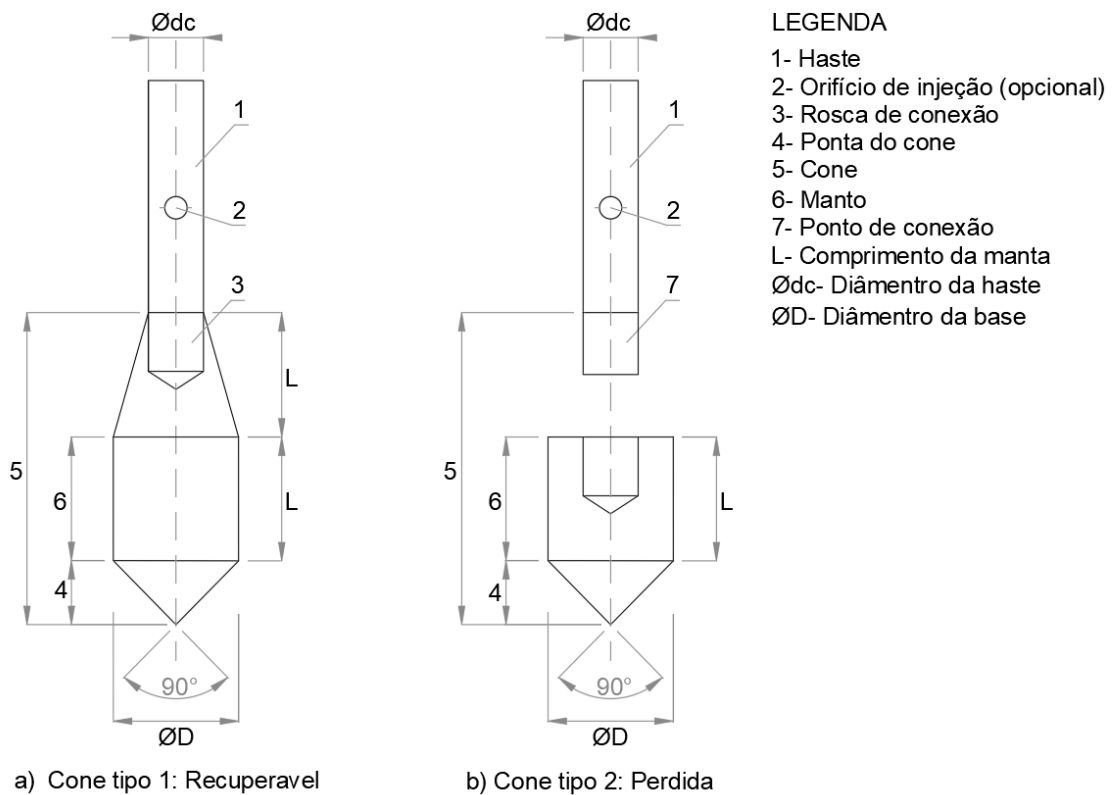


Figura 8- Formas alternativas de pontas cônicas para o ensaio de penetração dinâmica DPH (adaptado, EN ISO 22476-2:2005)

O penetrômetro dinâmico é escolhido com base na prospecção e conhecimento prévio do terreno, a fim de que a energia empregada seja adequada à profundidade que se deseja atingir e ao tipo de solo.

Além das características dos 4 tipos de penetrômetros mencionadas na Tabela 23 acima, deve-se levar em consideração ainda os seguintes aspectos:

- DPL: a profundidade de cravação não ultrapassa 8m. Procedese a leitura do número de pancadas para que ocorra uma cravação de 10cm (N_{10}).
- DPM: pode alcançar 20m de profundidade. Registra-se o valor de N_{10} .
- DPH: profundidade de penetração entre 20 e 25m. Registra-se o valor de N_{10} .
- DPH: atinge profundidade superior a 25m fazendo a leitura do número de pancadas para que ocorra uma cravação a cada 10cm (N_{10}) ou 20cm (N_{20}).

O ensaio DPSH-B equipara-se ao ensaio SPT no que diz respeito à energia cinética, possibilitando relacionar diretamente os valores de ambos, o que é comumente feito para obtenção de parâmetros geotécnicos.

A norma EN ISO 22476-2:2005, define para os equipamentos DPL, DPM e DPH um intervalo de operação para N_{10} = entre 3 a 50 golpes, e para DPSH-A e DPSH-B sugere N_{20} = entre 5 e 100 golpes. Esta norma também cita a influência do tipo de solo no ensaio: se forem argilas brandas, que apresentam baixa resistência à penetração, pode-se tomar os dados em relação a profundidade de penetração por golpe. Já em solos duros ou rochas brandas, que apresentem grande resistência à penetração ou supere os limites de golpes estabelecidos, pode-se anotar a profundidade de penetração segundo um dado número de golpes.

A fim de fazer comparações entre resultados de diferentes ensaios penetrométricos, admite-se a expressão E_n (energia específica por pancada), que representa a energia cinética do martelo por unidade de área da secção da ponta, como mostra a equação 20.

$$E_n = \frac{m \cdot g \cdot h}{A} \quad (20)$$

Sendo g a aceleração da gravidade.

Valendo-se dos sistemas I e II, os quais possuem energia específica E_n^I e E_n^{II} equivalentes da penetração em um determinado terreno nos comprimentos L_I e L_{II} , pode-se relacionar os resultados obtidos N_I e N_{II} da seguinte maneira:

$$E_n^I \cdot \frac{N_I}{L_I} = E_n^{II} \cdot \frac{N_{II}}{L_{II}} \quad (21)$$

Examinado a expressão 21 relacionada acima constata-se que o número de pancadas necessário para obter um comprimento de cravação unitário é inversamente proporcional à energia específica por pancada. Todavia, deve-se atentar a alguns fatores antes de fazer esta comparação, pois a energia transmitida ao solo depende também do peso do batente, peso das varas, etc, parâmetros estes que não estão contidos na equação anterior (Matos Fernandes, 2011).

- Interpretação do ensaio

Obtém-se o resultado do ensaio DPSH contando o número de golpes necessários (entre 5 e 100) para atingir uma extensão de penetração a cada 20cm. Os valores são projetados em

profundidade, criando um diagrama que descreve a linha de penetração. Usualmente os resultados não são corrigidos em razão do efeito exercido pelo atrito das varas no furo.

Segundo a norma EN ISO 22476-2:2005, os valores de N_{20} podem ser projetados associadamente com a resistência de ponta (r_d), ou com a resistência dinâmica de ponta (q_d). Abaixo seguem as equações 22 e 23 para determinar os parâmetros r_d e q_d :

$$r_d = \frac{m \cdot g \cdot h}{A \cdot e} \quad (22)$$

$$q_d = \frac{m}{m + m'} \cdot r_d \quad (23)$$

Sendo:

- r_d e q_d – valores de resistência (Pa);
- m – massa do martelo (kg);
- g – aceleração da gravidade (m/seg²);
- h – altura de queda do martelo;
- A – área da base do cone (m²);
- m' – massa total do conjunto de varas, batente e vara guia (kg);
- e – penetração média em (m) por pancada (0,10/ N_{10} para o PDL, PDM e DPH; 0,10/ N_{10} ou 0,2/ N_{20} no caso do DPSH).

De acordo com Veiga (2011), o ensaio apresenta algumas limitações e particularidades, como:

- Em relação ao uso da resistência dinâmica de ponta (q_d), que é um critério geralmente utilizado para avaliar, embora superficialmente, a qualidade de um maciço terroso de fundação;
- A utilização do ensaio requer cuidados e deve ser empregado em conjunto com outra investigação piloto para que se tenha uma base de conhecimento prévia do tipo de solo na área em estudo;
- A expressão de q_d é embasada na fórmula holandesa, estabelecida semi-empiricamente para cravação de estacas. Vale ressaltar que essa expressão considera que toda energia é absorvida pelo solo, não se atendendo à energia que é dissipada por deformações elásticas nas varas e pelas juntas de ligação entre elas;
- O aumento do número de golpes em grandes profundidades pode ser em decorrência do próprio solo, ao incremento do número de varas em relação à energia do martelo, ao inevitável atrito entre o conjunto de varas e as paredes do orifício, causado pelo deslocamento de solo pelo

cone durante a penetração, bem como da energia que se propaga pelas roscas de ligação entre as varas;

- O cálculo do parâmetro q_d considera a inércia do sistema, gerando resultados mais corretos em profundidade que o número de pancadas;
- A mudança da frequência de golpes ou interrupções no ensaio exigem uma análise mais cautelosa dos resultados, quando pretende-se utilizá-lo além de um meio de prospecção;
- O ensaio fornece melhores resultados em solos granulares. Em solos coesos e em elevadas profundidades é imprescindível cuidado na interpretação dos dados, pois a resistência à penetração pode aumentar mais do que linearmente com o aumento da compacidade do solo;
- A penetração pode ainda ser influenciada pela natureza e forma dos grãos. Solos com grãos angulosos ou superfícies assimétricas causam maior resistência à penetração. Em solos moles o atrito entre as hastes e a parede do orifício impacta significativamente a resistência à penetração. O uso de correlações entre DPSH e outros ensaios demanda atenção quanto ao atrito provocado ao longo das varas e a medição da energia real propagada.

2.2.3- Correlações existentes entre o SPT e o DPSH

As correlações mais comuns entre os ensaios SPT e DPSH são do tipo linear, conforme apresentado na expressão 24.

$$N_{SPT} = k \cdot N_{DPSH} \quad (24)$$

Entretanto, os usos destas correlações não são indicados a outros tipos de solos, nem a outros equipamentos, ainda que eles apresentem características semelhantes.

A relação N_{SPT} com N_{DPSH} deve ser estabelecida para cada caso, utilizando dos resultados experimentais, sendo indispensável a verificação do equipamento utilizado, no que se refere aos níveis de energia utilizados.

A relação entre os ensaios, pode ser estabelecida na teoria em termos de energia de penetração, conforme a equação 26, que traduz a energia específica do martelo por unidade de área da secção da ponteira do DPSH ou do amostrador de Terzaghi no ensaio SPT.

$$E_n = \frac{m \cdot g \cdot h}{A} \quad (25)$$

$$E_{n,DPSH} \cdot \frac{N_{DPSH}}{L_{DPSH}} = E_{n,SPT} \cdot \frac{N_{SPT}}{L_{SPT}} \quad (26)$$

Onde, m a massa do martelo, g a aceleração da gravidade, h a altura de queda, A a área nominal da ponteira (ou do amostrador de Terzaghi) e L o comprimento de cravação num dado solo.

Entretanto a relação ente o N_{SPT} com o N_{DPSH} baseada na relação energética, depende diretamente da área nominal do amostrador de Terzaghi utilizado nos ensaios SPT.

Neste sentido existem duas hipóteses para considerar a secção transversal do amostrador de Terzaghi, considerando que ele está trabalhando com o solo dentro do amostrador exercendo reação a cravação devido as pressões elevadas de confinamento ($A=2040 \text{ mm}^2$), ou considerando apenas a secção transversal do amostrador ($A=1080 \text{ mm}^2$).

Obtém-se assim duas relações, a expressão 27 considerando toda a secção do amostrador de Terzaghi e a expressão 28 considera apenas a área da secção do anel cortante do amostrador. O que pode ser traduzido como os limites teóricos para a relação entre o ensaio SPT e o DPSH, em termos de relações energéticas de acordo com a expressão 29.

$$\frac{N_{SPT}}{N_{DPSH}} = 1,5 \quad (27)$$

$$\frac{N_{SPT}}{N_{DPSH}} = 0,8 \quad (28)$$

$$1,5 > \frac{N_{SPT}}{N_{DPSH}} > 0,8 \quad (29)$$

Viana da Fonseca (1986), estabeleceu a relação entre os limites teóricos entre os dois ensaios para um caso em solo residual do granito, conforme o gráfico apresentado na Figura 9.

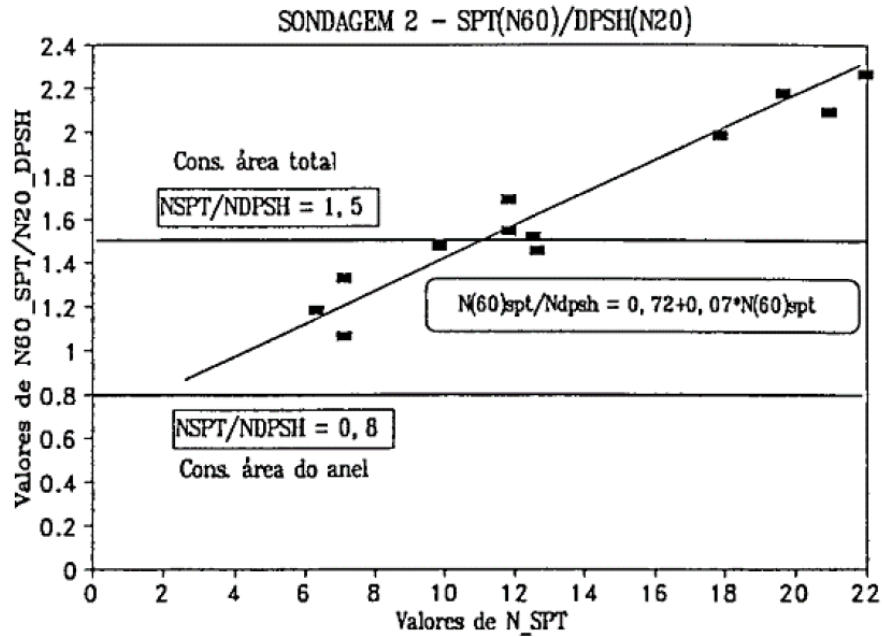


Figura 9- Relação entre $(N_{60})_{SPT}$ e $(N_{20})_{DPSH}$ com referência às duas áreas do amostrador de Terzaghi (Viana da Fonseca, 1996).

O gráfico apresentado revela uma relação não constante entre o N_{SPT} e o N_{DPSH} . Para valores baixos de N_{SPT} correspondendo a níveis baixos de confinamento, a relação N_{SPT}/N_{DPSH} aproxima-se de 0,80 e para valores elevados, a relação ultrapassa significativamente o valor de 1,5, o que de forma geral causa pouca fiabilidade para correlações deste tipo.

Mais tarde, a própria autora Fonseca et al. (2000) contestou a validade desta relação e indicou que o valor de N_{SPT}/N_{DPSH} , para solo residual do granito, tende a ser superior a 1,5 para valores de N_{SPT} superiores a 20.

Muromachi e Kobayashi (1982), apresentaram uma correlação ente o N_{SPT} e N_{DPSH} para solos residuais, conforme a expressão 30.

$$N_{SPT} = 1,27 \cdot N_{DPSH} \quad (30)$$

Dapena et al. (2000) propuseram uma correlação para solos coesivos, apresentada na expressão 31.

$$N_{SPT} = 13 \cdot \log N_{DPSH} - 2 \quad (31)$$

Muromachi e Kobayashi (1982), apresentaram correlações utilizando um penetrómetro dinâmico super pesado Japonês (RTRI - HEAVY) com as seguintes características:

- Martelo com 63,5 kg de massa;

- Altura de queda de 0,75 m;
- Cone com 50,8 mm de diâmetro.

Sendo realizado ensaios em solos arenosos, silto-arenosos e argilosos, foi registrado o número de pancadas para que ocorresse uma penetração de 30 cm, N_{30} , resultando a relação expressa na equação 32.

$$N_{30} \cong 1,15 \cdot N_{SPT} \quad (32)$$

Tissoni (1987) realizou ensaios SPT e ensaios DPSH do tipo Meardi-AGI, com as seguintes características:

- Martelo com 73,5 kg de massa;
- Altura de queda de 0,75 m;
- Cone com 51,0 mm de diâmetro.

Realizados na zona de Torinese-Beinasco, na Itália, em um terreno fluvio-glaciar, foi obtida a seguinte relação:

$$\frac{(N_{30})_{DPSH}}{(N_{60})_{SPT}} = 0,57 \quad (33)$$

Cavaleiro (2001), apresentou correlações de ensaios executadas na Covilhã, foi obtido a correlação apresentada na expressão 34 e representada na Figura 10.

$$N_{SPT} \cong 2 \cdot (N_{20})_{DPSH} \quad (34)$$

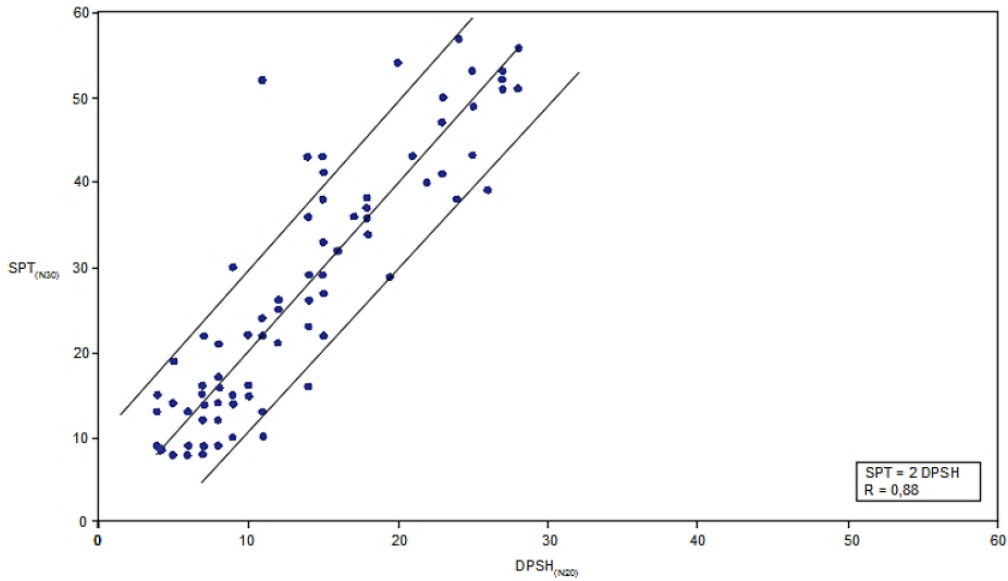


Figura 10- Relação entre N_{SPT} e N_{DPH} (Cavaleiro, 2001, citado por Bessa, 2009)

Afonso (2016), apresentou correlações em três campos experimentais distintos, propondo uma correlação para cada campo experimental, conforme indica a Figura 11. Aplicadas as correções ao valor do coeficiente de determinação.

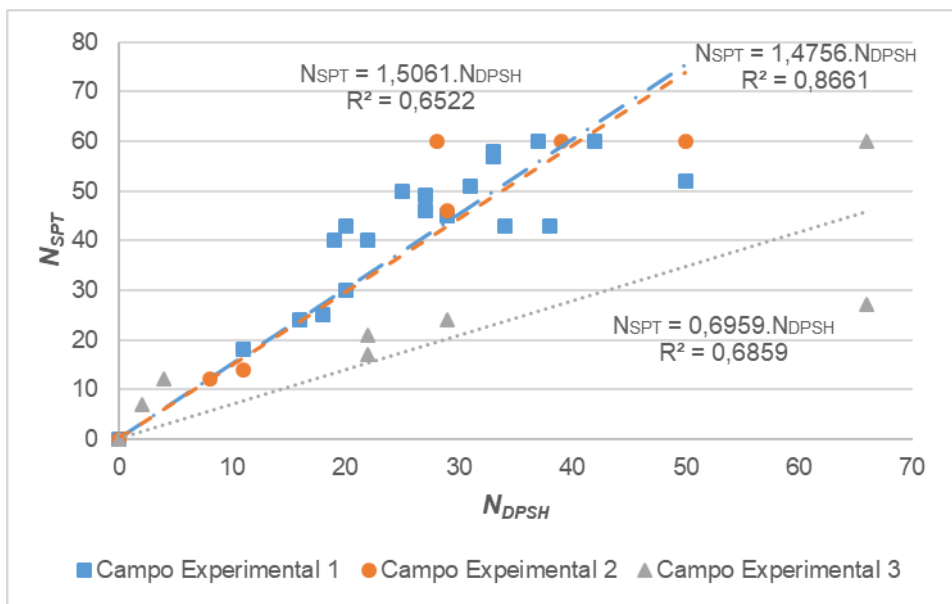


Figura 11- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPH} dos Campos Experimentais analisados (adaptado, Afonso, 2016)

Carvalho (2017), estabelece os limites mínimos e máximos de k , obtidos através de ensaios manuais SPT e ensaios DPH. Conforme a expressão 35.

$$0,62 \leq \frac{N_{DPH}}{N_{SPT}} \leq 1,30 \quad (35)$$

2.3- Ensaios de laboratório

Os ensaios de laboratório possibilitam a identificação dos solos e a determinação de propriedades físicas dos mesmos, sendo fundamentais para a caracterização geotécnica e para obtenção de valores de parâmetros utilizados em projetos de obras geotécnicas.

Normalmente realizados após os ensaios de campo, a escolha dos tipos de ensaios é efetuada em função do tipo de terreno e do objetivo do estudo, respeitando a classificação de amostras de acordo com o grau de perturbação causada a amostra.

Estas perturbações nos solos tomados como amostras podem ocorrer em diversas fases do processo de amostragem, como na perfuração, na penetração do amostrador, na extração da amostra e no seu transporte.

Com o intuito de garantir a qualidade das amostras o Eurocódigo 7 nas partes 2 e 3 (ENV 1997-2, 1999; ENV 1997-3 1999) dividem as amostras de laboratório em cinco classes de qualidade, relativamente a capacidade de manter inalteradas as amostras, estas classes estão relacionadas a três categorias de métodos de amostragem A, B e C, conforme apresentado na Tabela 24.

Tabela 24- Classes de qualidade de amostras de solos para ensaios de laboratório (adaptado ENV 1997-3 1999)

Propriedades dos solos / Classes de qualidade	1	2	3	4	5
<p>Propriedades inalteradas:</p> <p>Tamanho das partículas Teor em água Densidade, índice de densidade, permeabilidade Compressibilidade, resistência ao cisalhamento</p> <p>Propriedades determináveis:</p> <p>Sequência de camadas Limites dos estratos - grosseiro Limites do estratos - fino Limites de Atterberg, densidade das partículas, teor orgânico Teor em água Densidade, índice de densidade, porosidade, permeabilidade Compressibilidade, resistência ao cisalhamento</p>					
Categoria de amostragem a ser utilizada	A		B		C

Onde as categorias de amostragem representam:

- A – Amostras sem nenhuma ou mínima perturbação, em que não ocorra nenhuma alteração em termos de componentes ou composição química do solo e que os valores obtidos para o teor em água (w) correspondam aos valores *in situ*.
- B – Amostras sem alteração dos constituintes originais do solo e suas propriedades, mantendo seu teor de água natural (w_{nat}), permitem a identificação da estratificação do solo ou seus componentes, podendo a estrutura do solo ficar perturbada.
- C – Amostras obtidas através de métodos de amostragem alteram totalmente a estrutura do solo, não sendo possível identificar com precisão o arranjo geral das diferentes camadas ou componentes do solo e o w não corresponder ao w_{nat} .

A partir de amostras de solos colhidas durante a execução do ensaio SPT, foram realizados os ensaios de laboratório, e de acordo com a classificação mencionada anteriormente o solo recolhido no processo obteve uma classe de qualidade 3 atendendo assim a categoria de amostragem B.

Ressalta-se o caráter complementar entre os ensaios *in situ* e de laboratório, buscando suprir as desvantagens relacionadas ao tipo de ensaio com a realização de outro tipo ensaio, um exemplo é a realização dos ensaios *in situ* para parâmetros que podem ser alterados com a remoção de amostras, e a identificação de amostras em laboratório, ambiente este com condições controladas.

3- Plano de trabalhos e caracterização geotécnica

3.1- Considerações iniciais

Neste capítulo será apresentado o plano de trabalhos realizado assim como a descrição e apresentação das características dos equipamentos utilizados. Serão também referidos, os campos usados para a realização do estudo deste trabalho.

Em seguida, neste mesmo capítulo apresentam-se alguns resultados dos ensaios laboratoriais e dos ensaios SPT, com o principal foco na caracterização do solo.

3.2- Descrição do plano de trabalhos

O plano de trabalhos tem início na execução dos ensaios *in situ* e na obtenção das amostras de solos, sendo estas colhidas durante a execução do ensaio SPT e de forma complementar na recolha de amostras através de poços de prospecção.

No Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança, foram realizados os ensaios de análise granulométrica por peneiração húmida de acordo com a especificação LNEC E 239 (1970), permitindo assim traçar as curvas granulométricas utilizadas na identificação do solo. Sendo também realizados outros ensaios de identificação como os Limites de Atterberg de forma complementar.

A partir dos resultados dos ensaios SPT, são realizadas uma serie de análises e correlações com parâmetros dos solos, como índice de compacidade e ângulo de atrito interno, seguindo metodologias propostas por diversos autores.

Após as análises dos resultados obtidos, utiliza-se a classificação unificada de solos ASTM D 2487-85 para a identificação do solo.

3.3- Apresentação dos campos experimentais

Após a seleção dos locais, determinou-se quatro zonas de estudos, designados campos experimentais, onde foram executados ensaios SPT e DPSH. Foram realizados ensaios em 4 campos experimentais, um pertencente ao Matadouro de Bragança designado Campo Experimental 1, outro pertencente a Estação de Tratamento de Água de Bragança, localizado na aldeia de França indicado como Campo Experimental 2, o Campo Experimental 3 é localizado na Rua do Seixagal em Bragança e finalmente o Campo Experimental 4 situa-se na Rua da Serra no Município de Vila Flor, localizado ao sul do distrito de Bragança.

Na Figura 12, encontra-se representado o enquadramento dos dois locais seleccionados na cidade de Bragança. Na Figura 13 apresenta-se o campo experimental 2 localizado na aldeia de França, e por fim na Figura 14 encontra-se a localização do Campo Experimental 4 na cidade de Vila Flor.

A distribuição dos ensaios nos campos experimentais encontra-se na Figura 15.



Figura 12- Localização dos campos experimentais em Bragança

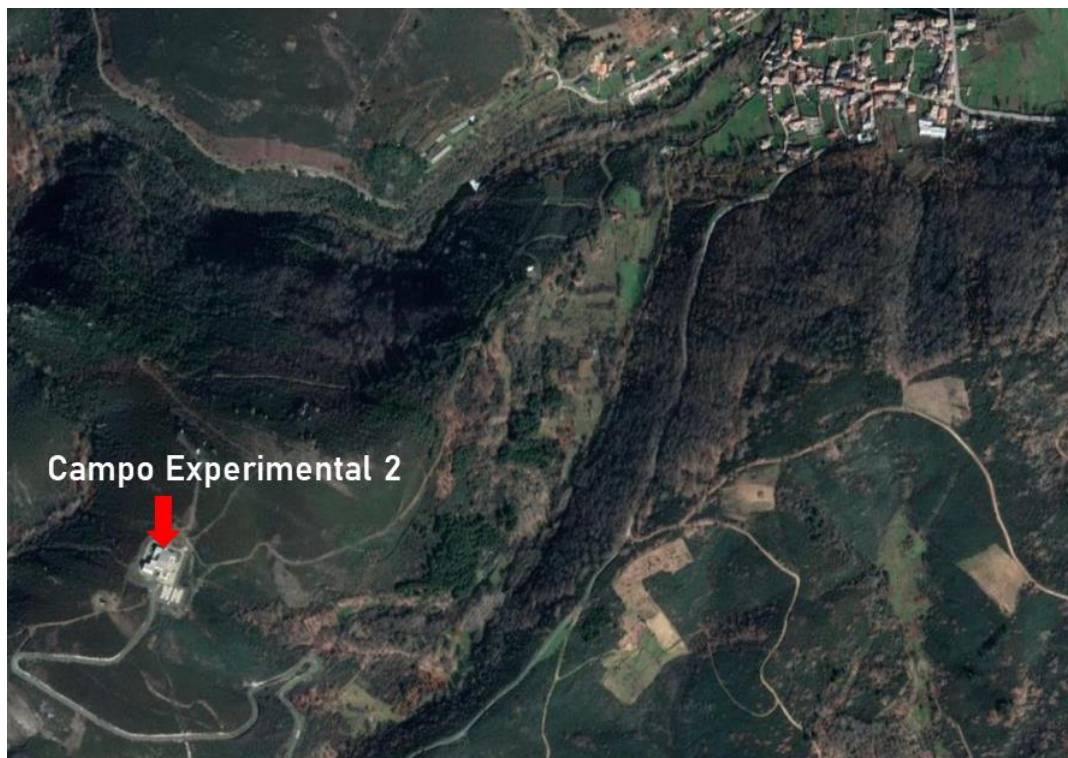


Figura 13- Localização do campo experimental 2 na aldeia França



Figura 14- Localização do campo experimental 4 em Vila Flor

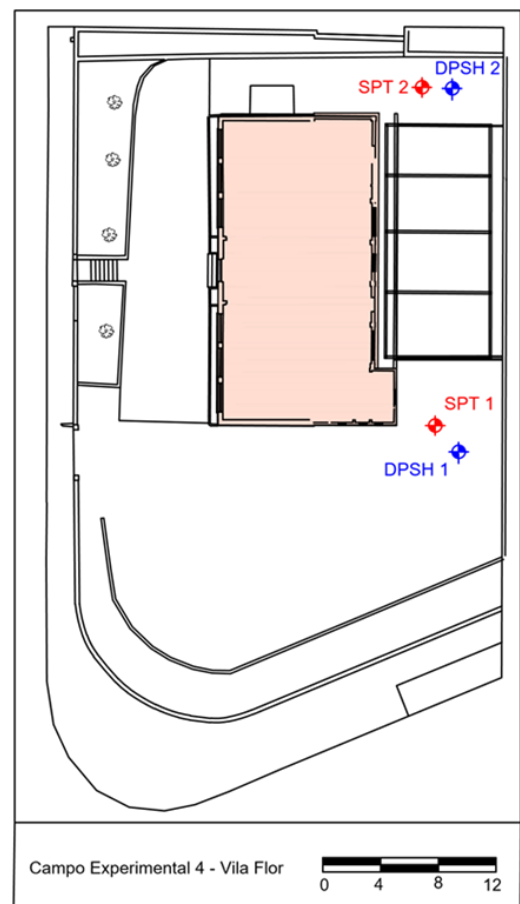
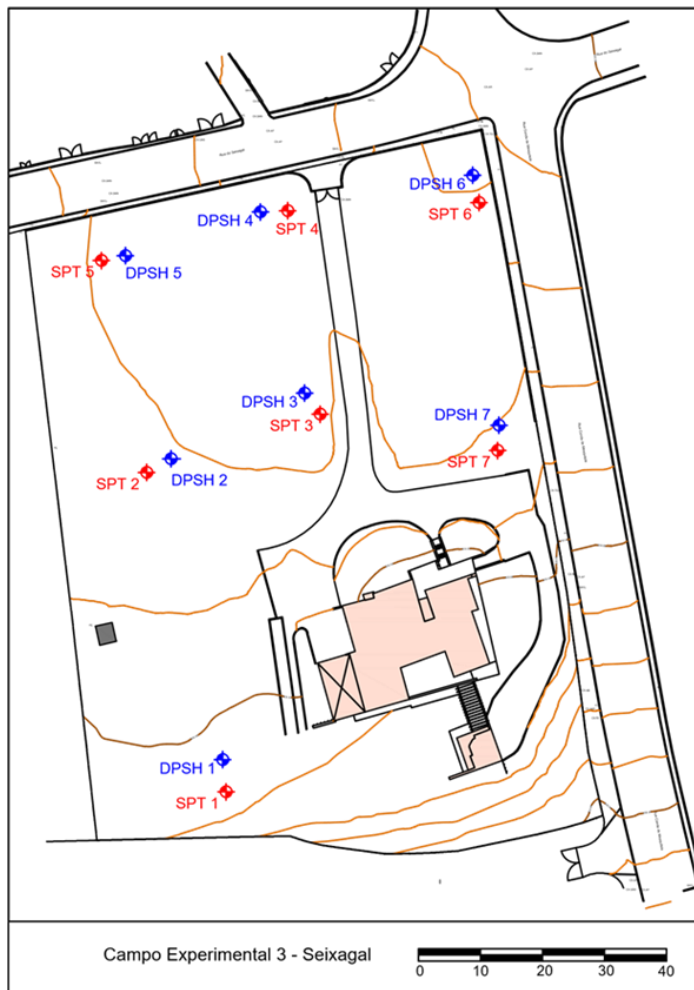
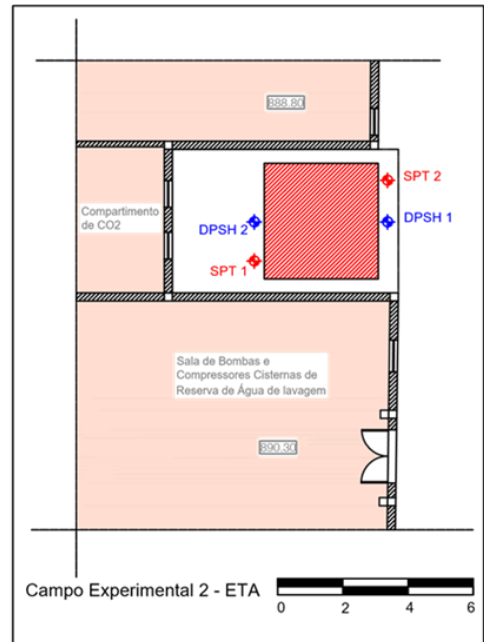
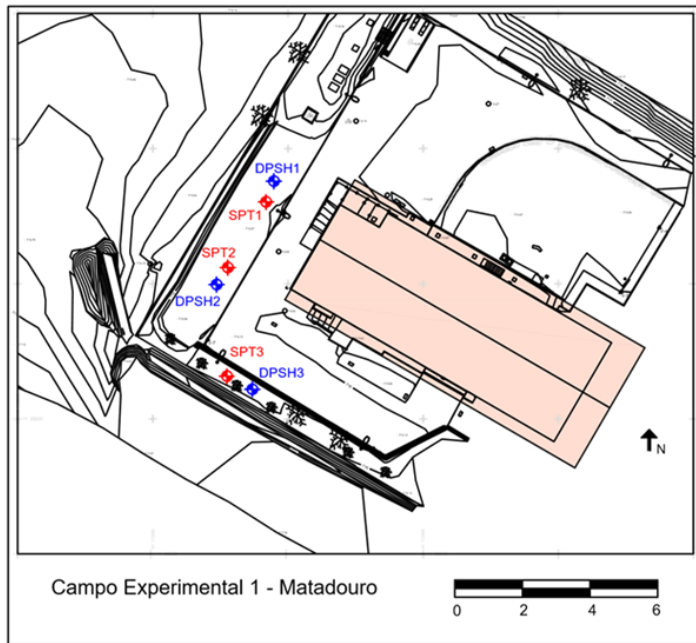


Figura 15- Distribuição dos ensaios SPT e DPSH nos campos experimentais

3.4- Equipamento utilizado

Para a realização dos ensaios de penetração dinâmica utilizou-se um penetrômetro dinâmico portátil de lagartas, do Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança, para ambos ensaios de penetração, indicado na Figura 16. A execução dos ensaios DPSH e SPT seguiram os procedimentos das normas EN ISO 22476-2:2005 e a EN ISO 22476-3:2005, respetivamente.



Figura 16- Penetrômetro dinâmico portátil do Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança e amostrador do ensaio SPT.

Foi utilizado o mesmo equipamento de penetração para os dois tipos de ensaios, o equipamento dispõe de um martelo de massa de 64 kg e permite uma altura de queda de 760mm, correspondendo ao ensaio de penetrometro dinâmico DPSH-B, segundo a Tabela 23.

O ensaio DPSH-B, convenientemente possui a massa do martelo e altura de queda iguais às do ensaio SPT, este fato assemelha os ensaios em termos de energia cinética e facilita o estabelecimento de relações diretas entre eles.

Entretanto, como citado anteriormente as correlações entre os ensaios apresentam uma dependência das características do solo e das características dos equipamentos, o que impede a aplicação generalizada das correlações. Sendo validas as correlações estabelecidas apenas para o solo caracterizado.

Nos campos experimentais 1, 3 e 4 o compasso utilizado em profundidade para a execução do ensaio foi de 1 m, enquanto no Campo Experimental 2 foi executado de 1,5 m em 1,5 m.

3.5- Ensaios de identificação

Para a caracterização geotécnica dos subsolos atravessado e em análise, foram colhidas amostras remexidas do solo intersetado nas sondagens SPT, utilizando o amostrador deste ensaio.

A seguir são apresentados os resultados da caracterização laboratorial das amostras colhidas nos campos experimentais.

- **Campo Experimental 1**

No Campo Experimental 1, através da análise granulométrica das 11 amostras de solo colhidas em 3 zonas prospectadas, identificou-se um solo predominantemente arenoso, contendo aproximadamente 41% de argila e silte, 44% de areia e 15% de seixo.

Segundo a classificação unificada de solos ASTM D 2487-85, o solo é uma areia siltosa com seixo, ou areias argilosas (classificação unificada respectivamente de SM ou SC). O diâmetro médio das partículas, D_{50} , varia entre 0,1 e 0,2 mm.

- **Campo Experimental 2**

No Campo Experimental 2, através da análise granulométrica das 4 amostras colhidas em 2 zonas prospectadas, identificou-se que o solo é predominantemente composto por seixo, contendo aproximadamente 26% de argila e silte, 29% de areia e 45% de seixo.

Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de solo predominante cascalhento com areia e silte, podendo ser classificado como cascalho siltoso com areia ou cascalho argiloso com areia (classificação unificada GM ou GC). O diâmetro médio das partículas, D_{50} varia entre 1 a 2 mm.

- **Campo Experimental 3**

No Campo Experimental 3, através da análise granulométrica das 15 amostras colhidas em 7 zonas prospectadas, identificou-se que o solo é predominantemente argiloso, contendo aproximadamente 48% de argila e silte, 27% de areia e 25% de seixo.

Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de uma areia argilosa com cascalho (classificação unificada SC) ou areia siltosa com cascalho (SM). O diâmetro médio das partículas, D_{50} , varia entre 0,1 a 0,2 mm.

- **Campo Experimental 4**

No Campo Experimental 4 foi efetuada a análise granulométrica de 4 amostras colhidas em 2 zonas prospectadas, o solo é predominantemente argiloso, contendo aproximadamente 47% de argila e silte, 29% de areia e 24% de seixo.

Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de cascalho siltoso com areia ou cascalho argiloso com areia (classificação unificada respectivamente GM ou GC). O diâmetro médio das partículas, D_{50} , varia entre 0,1 a 0,2 mm.

- **Composição e Curvas granulométricas médias dos campos experimentais**

A Figura 17 apresenta a composição granulométrica média em cada campo experimental analisado.

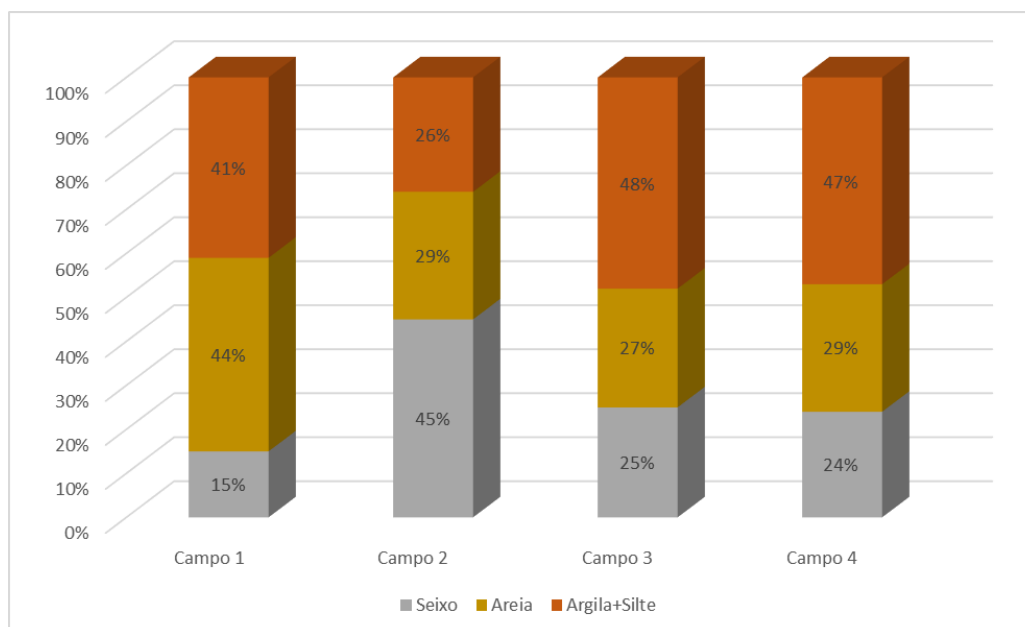


Figura 17- Composição granulométrica média dos campos experimentais

Utilizando das curvas granulométricas obtidas, foram obtidas as curvas médias de cada campo analisado, conforme indicado na Figura 18.

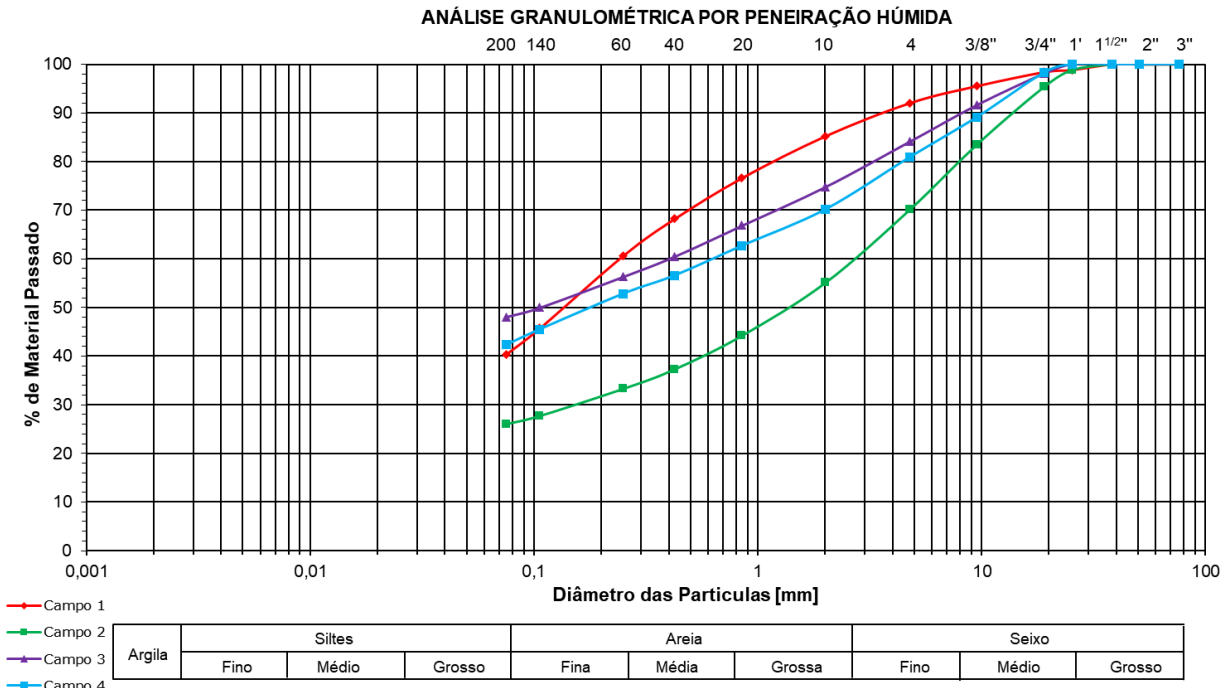


Figura 18- Curva granulométrica média dos campos experimentais

3.6- Ensaios SPT

3.6.1- Considerações iniciais

Durante a execução do ensaio SPT, nos 4 campos considerados, foram realizadas 14 sondagens correspondendo no total a cerca de 32 ensaios SPT e interstetado cerca de 34 m de solo. A Figura 19 apresenta a distribuição em profundidade dos resultados N_{SPT} .

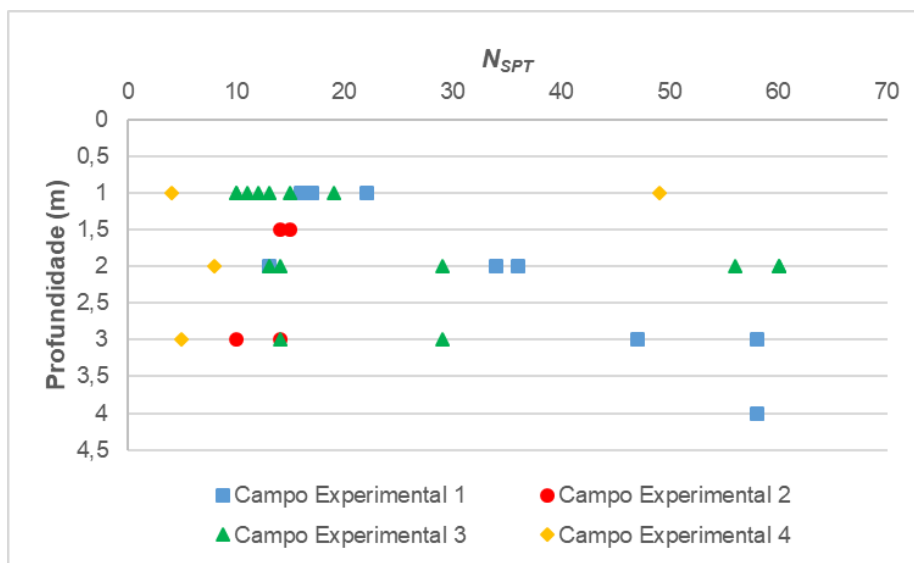


Figura 19- Distribuição dos valores N_{SPT} em profundidade

3.6.2- Campo Experimental 1

No Campo Experimental 1, foram intersectados cerca de 9 m de solo através das 9 sondagens realizadas, resultando em 3 ensaios SPT, em que a profundidade máxima atingida foi de 4 m.

Na Figura 20, está representada a da distribuição dos valores de N_{60} e os valores corrigidos, $(N_1)_{60}$, em profundidade.

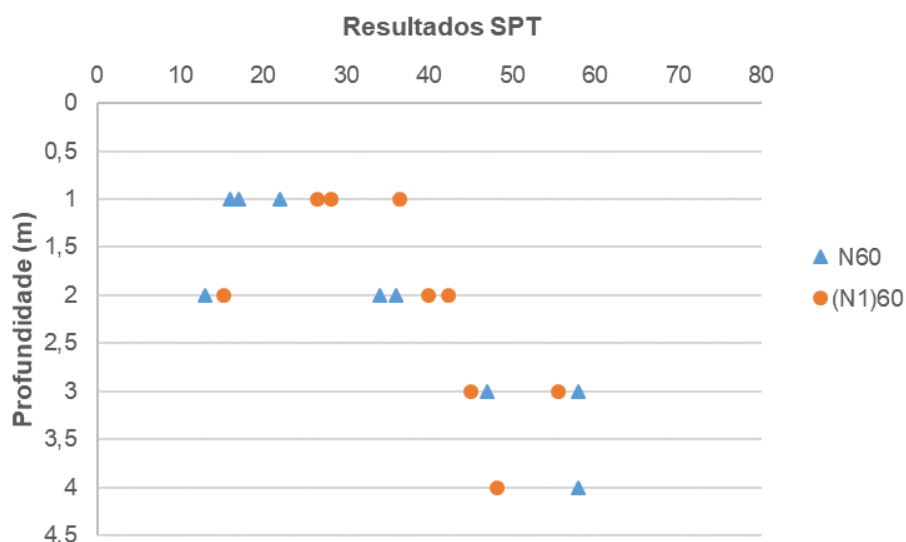


Figura 20- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 1

Na Tabela 25 estão representados alguns valores estatísticos relativamente ao intervalo de dados considerados de N_{60} e $(N_1)_{60}$.

Tabela 25- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 1

	Min	Max	Me	Med	Mo	P25%	P75%	n
N_{60}	13	60	33	34	58	16,5	53	9
$(N_1)_{60}$	15	60	38	40	-	27	47	9

Max – máximo; Me – média; Med – mediana; Min – mínimo; Mo – moda; P25% – percentil 25; P75% – percentil 75; n – número de amostras.

Utilizando da distribuição dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$ em classes, foram propostas classes de compacidade correspondentes, Terzaghi e Peck (1967) utilizam os valores de N_{60} e Skempton (1986) os valores de $(N_1)_{60}$, conforme indicado nas Tabela 26 e Tabela 27 respectivamente.

Tabela 26- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 1, segundo as classes de compactidade propostas por Terzaghi e Peck (1967)

N	Compactidade	N_{60}	
		Freq.	%
4	Muito solta	0	0
4 - 10	Solta	0	0
10 - 30	Medianamente densa	4	44
30 - 50	Densa	3	33
50	Muito densa	2	22
Total		9	100

Tabela 27- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 1, segundo as classes de compactidade propostas por Skempton (1986)

$(N_1)_{60}$	Compactidade	$(N_1)_{60}$	
		Freq.	%
0 - 3	Muito solta	0	0
3 - 8	Solta	0	0
8 - 25	Medianamente densa	1	11
25 - 42	Densa	4	44
42	Muito densa	4	44
Total		9	100

Analisando a Tabela 26 verifica-se que, de acordo com as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967), cerca de 55% dos resultados obtidos correspondem a solos densos e muito densos, de acordo com Skempton (1986), Tabela 27, cerca de 88% dos solos apresentam ser densos e muito densos.

A elevada compactidade observada no solo do Campo Experimental 1, pode ser entendida através dos valores N_{60} que não apresentam valores inferiores a 10 pancadas.

A seguir nas Tabela 28 e Tabela 29 são relacionados os valores do índice de compactidade (I_D) e do ângulo de atrito interno (ϕ) em função da distribuição dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, e as respectivas frequências, de acordo com diversos autores.

Tabela 28- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956)

N	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	(N_{60})	(Terzaghi e Peck, 1967)	(Meyerhof, 1956)
4	0	20	30
4 - 10	0	20 - 40	30 - 35
10 - 30	44	40 - 60	35 - 40
30 - 50	33	60 - 80	40 - 45
50	22	80 - 100	45

Tabela 29- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996)

$(N_1)_{60}$	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	$(N_1)_{60}$	(Skempton, 1986)	(Hatanaka e Uchida, 1996)
0 - 3	0	0 - 15	20,0 - 26,8
3 - 8	0	15 - 35	26,8 - 31,1
8 - 25	11	35 - 65	31,1 - 39,6
25 - 42	44	65 - 85	39,6 - 45,4
42	44	85 - 100	45,4

Segundo as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967) e segundo Meyerhof (1956), todo o solo apresenta uma compactidade de pelo menos 40% e o ângulo de atrito interno ϕ é superior a 35°.

De acordo com as classes de Skempton (1986) e segundo Hatanaka e Uchida (1996), cerca de 88% do solo apresenta compactidade igual ou superior a 65% e ângulo de atrito interno, ϕ maior ou igual que 39,6°.

3.6.3- Campo Experimental 2

No Campo Experimental 2, foram intersectados cerca de 6 m de solo através das 2 sondagens realizadas, resultando em 4 ensaios SPT, em que a profundidade máxima atingida foi de 3 m.

Na Figura 21, está representada a da distribuição dos valores de N_{60} e os valores corrigidos, $(N_1)_{60}$, em profundidade.

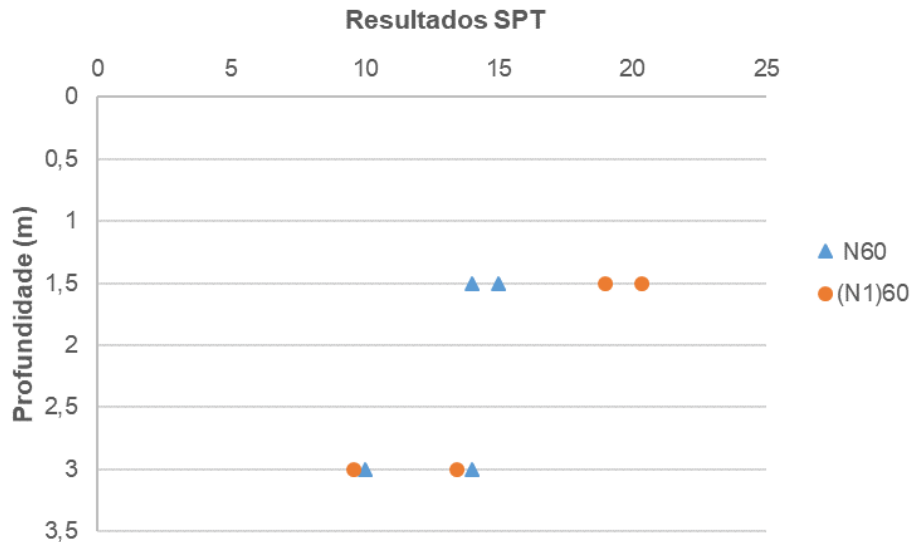


Figura 21- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 2

Na Tabela 30 estão representados alguns valores estatísticos relativamente ao intervalo de dados considerados de N_{60} e $(N_1)_{60}$.

Tabela 30- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 2

	Min	Max	Me	Med	Mo	P25%	P75%	n
N_{60}	10	60	13	14	14	11	15	4
$(N_1)_{60}$	10	60	16	16	-	11	20	4

Max – máximo; Me – média; Med – mediana; Min – mínimo; Mo – moda; P25% – percentil 25; P75% – percentil 75; n – número de amostras.

Nas Tabela 31 e Tabela 32 são apresentadas as distribuições dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$, em relação as classes de compacidade.

Tabela 31- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 2, segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967)

N	Compacidade	N_{60}	
		Freq.	%
4	Muito solta	0	0
4 - 10	Solta	0	0
10 - 30	Medianamente densa	4	100
30 - 50	Densa	0	0
50	Muito densa	0	0
Total		4	100

Tabela 32- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 2, segundo as classes de compactidade propostas por Skempton (1986)

$(N_1)_{60}$	Compactidade	$(N_1)_{60}$	
		Freq.	%
0 - 3	Muito solta	0	0
3 - 8	Solta	0	0
8 - 25	Medianamente densa	4	100
25 - 42	Densa	0	0
42	Muito densa	0	0
Total		4	100

Verifica-se que em ambas tabelas analisadas (Tabela 31 e Tabela 32), todo o solo pertence à classe de compactidade medianamente densa.

A seguir nas Tabela 33 e Tabela 34 são relacionados os valores do índice de compactidade (I_D) e do ângulo de atrito interno (ϕ) em função da distribuição dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, e as respectivas frequências, de acordo com diversos autores.

Tabela 33- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956)

N	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	(N_{60})	(Terzaghi e Peck, 1967)	(Meyerhof, 1956)
4	0	20	30
4 - 10	0	20 - 40	30 - 35
10 - 30	100	40 - 60	35 - 40
30 - 50	0	60 - 80	40 - 45
50	0	80 - 100	45

Tabela 34- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996)

$(N_1)_{60}$	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	$(N_1)_{60}$	(Skempton, 1986)	(Hatanaka e Uchida, 1996)
0 - 3	0	0 - 15	20,0 - 26,8
3 - 8	0	15 - 35	26,8 - 31,1
8 - 25	100	35 - 65	31,1 - 39,6
25 - 42	0	65 - 85	39,6 - 45,4
42	0	85 - 100	45,4

Segundo as classes propostas por Terzagli e Peck (1967) e segundo Meyerhof (1956), todo o solo apresenta uma compactidade entre 40% e 60% e ϕ entre 35° a 40°.

De acordo com as classes de Skempton (1986) e segundo Hatanaka e Uchida (1996), todo o solo apresenta compactidade entre 35% e 65% e ϕ' entre 31,1° e 39,6°.

3.6.4- Campo Experimental 3

No Campo Experimental 3, foram intersectados cerca de 15 m de solo através das 7 sondagens realizadas, resultando em 15 ensaios SPT, em que a profundidade máxima atingida foi de 3 m.

Na Figura 22, está representada a da distribuição dos valores de N_{60} e os valores corrigidos, $(N_1)_{60}$, em profundidade.

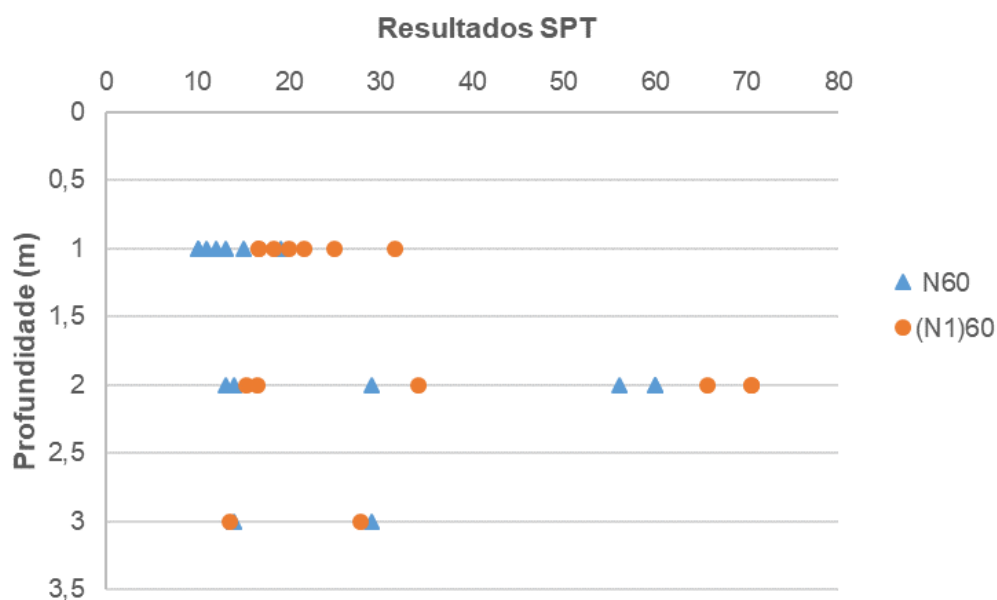


Figura 22- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 3

Na Tabela 35 estão representados alguns valores estatísticos relativamente ao intervalo de dados considerados de N_{60} e $(N_1)_{60}$.

Tabela 35- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 3

	Min	Max	Me	Med	Mo	P25%	P75%	n
N_{60}	10	60	24	14	13	12	29	15
$(N_1)_{60}$	13	60	31	22	-	17	34	15

Max – máximo; Me – média; Med – mediana; Min – mínimo; Mo – moda; P25% – percentil 25; P75% – percentil 75; n – número de amostras.

Nas Tabela 36 e Tabela 37 são apresentadas as distribuições dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$, em relação as classes de compacidade.

Tabela 36- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 3, segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967)

N	Compacidade	N_{60}	
		Freq.	%
4	Muito solta	0	0
4 - 10	Solta	0	0
10 - 30	Medianamente densa	12	80
30 - 50	Densa	0	0
50	Muito densa	3	20
Total		15	100

Tabela 37- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 3, segundo as classes de compacidade propostas por Skempton (1986)

$(N_1)_{60}$	Compacidade	$(N_1)_{60}$	
		Freq.	%
0 - 3	Muito solta	0	0
3 - 8	Solta	0	0
8 - 25	Medianamente densa	9	60
25 - 42	Densa	3	20
42	Muito densa	3	20
Total		15	100

Na Tabela 36, de acordo com as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967), verifica-se que cerca de 80% dos resultados obtidos correspondem a compacidade medianamente densa, os outros 20% correspondem a compacidade muito densa.

Segundo Skempton (1986), na Tabela 37 cerca de 60% dos solos apresentam ser medianamente densos, e os restantes 40% estão divididos entre os índices de compacidade densa e muito densa.

Nota-se que neste campo, não são atingidos valores de N_{60} inferiores a 10 golpes, o que indica uma compacidade no mínimo medianamente densa, de acordo com as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967).

As Tabela 38 e Tabela 39, apresentam as relações entre os valores do índice de compacidade (I_D) e do ângulo de atrito interno (ϕ) em função da distribuição dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, e as respectivas frequências, de acordo com diversos autores.

Tabela 38- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956)

N	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	(N_{60})	(Terzaghi e Peck, 1967)	(Meyerhof, 1956)
4	0	20	30
4 - 10	0	20 - 40	30 - 35
10 - 30	80	40 - 60	35 - 40
30 - 50	0	60 - 80	40 - 45
50	20	80 - 100	45

Tabela 39- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, segundo Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996)

$(N_1)_{60}$	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	($(N_1)_{60}$)	(Skempton, 1986)	(Hatanaka e Uchida, 1996)
0 - 3	0	0 - 15	20,0 - 26,8
3 - 8	0	15 - 35	26,8 - 31,1
8 - 25	60	35 - 65	31,1 - 39,6
25 - 42	20	65 - 85	39,6 - 45,4
42	20	85 - 100	45,4

Segundo as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967) e segundo Meyerhof (1956), cerca de 80% do solo apresentam índice de compactação entre 40% e 60%, apresentando também o ϕ entre 35° e 40°.

Nas classes propostas por Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996), cerca de 60% do solo apresenta compactação entre 35% e 65%, com o ângulo de atrito interno, ϕ' entre 31,1° e 39,6°.

3.6.5- Campo Experimental 4

No Campo Experimental 4, foram intersectados cerca de 4 m de solo através das 2 sondagens realizadas, resultando em 4 ensaios SPT, em que a profundidade máxima atingida foi de 3 m.

Na Figura 23, está representada a da distribuição dos valores de N_{60} e os valores de N_{60} corrigidos, $(N_1)_{60}$, em profundidade.



Figura 23- Distribuição em profundidade dos valores N_{60} e $(N_1)_{60}$, do ensaio SPT, do campo experimental 4

A Tabela 40 apresenta alguns valores estatísticos relativamente ao intervalo de dados considerados de N_{60} e $(N_1)_{60}$.

Tabela 40- Valores estatísticos de N_{60} e $(N_1)_{60}$ do Campo Experimental 4

	Min	Max	Me	Med	Mo	P25%	P75%	n
N_{60}	4	60	17	7	-	4,25	39	4
$(N_1)_{60}$	5	60	26	8	-	5	63	4

Max – máximo; Me – média; Med – mediana; Min – mínimo; Mo – moda; P25% – percentil 25; P75% – percentil 75; n – número de amostras.

Nas Tabela 41 e Tabela 42 são apresentadas as distribuições dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$, em relação as classes de compacidade.

Tabela 41- Distribuição dos valores de N_{60} , do Campo Experimental 4, segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967)

N	Compacidade	N_{60}	
		Freq.	%
4	Muito solta	0	0
4 - 10	Solta	3	75
10 - 30	Medianamente densa	0	0
30 - 50	Densa	1	25
50	Muito densa	0	0
Total		4	100

Tabela 42- Distribuição dos valores de $(N_1)_{60}$, do Campo Experimental 4, segundo as classes de compacidade propostas por Skempton (1986)

$(N_1)_{60}$	Compacidade	$(N_1)_{60}$	
		Freq.	%
0 - 3	Muito solta	0	0
3 - 8	Solta	2	50
8 - 25	Medianamente densa	1	25
25 - 42	Densa	0	0
42	Muito densa	1	25
Total		4	100

De análise da Tabela 41, de acordo com as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967), verifica-se que 75% dos resultados obtidos correspondem a compacidade solta, diretamente relacionado aos baixos valores de N_{60} obtidos nesse campo.

As Tabelas 43 e 44, apresentam as relações entre os valores do índice de compacidade (I_D) e do ângulo de atrito (ϕ) em função da distribuição dos valores de N_{60} e $(N_1)_{60}$ em diferentes classes, e as respectivas frequências, de acordo com diversos autores.

Tabela 43- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956)

N	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	(N_{60})	(Terzaghi e Peck, 1967)	(Meyerhof, 1956)
4	0	20	30
4 - 10	75	20 - 40	30 - 35
10 - 30	0	40 - 60	35 - 40
30 - 50	25	60 - 80	40 - 45
50	0	80 - 100	45

Tabela 44- Valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60} em diferentes classes, segundo Terzaghi e Peck (1967) e Meyerhof, (1956)

$(N_1)_{60}$	Freq. (%)	I_D (%)	ϕ (°)
	$(N_1)_{60}$	(Skempton, 1986)	(Hatanaka e Uchida, 1996)
0 - 3	0	0 - 15	20,0 - 26,8
3 - 8	50	15 - 35	26,8 - 31,1
8 - 25	25	35 - 65	31,1 - 39,6
25 - 42	0	65 - 85	39,6 - 45,4
42	25	85 - 100	45,4

Segundo as classes propostas por Terzaghi e Peck (1967) e segundo Meyerhof (1956), cerca de 75% do solo apresentam índice de compacidade entre 20% e 40%, apresentando também o ângulo de atrito interno, ϕ entre 30° e 45°.

Nas classes propostas por Skempton (1986) e Hatanaka e Uchida (1996), cerca de 50% do solo apresenta compacidade entre 15% e 35%, com o ângulo de atrito interno ϕ' entre 26,8° e 31,1°.

3.6.6- Considerações finais

Conforme o exposto anteriormente, a Tabela 45 apresenta um resumo dos valores do índice de compacidade (I_D) e do ângulo de atrito interno (ϕ) em função da distribuição dos valores de N_{60} , em diferentes classes, e as respectivas frequências, de acordo com diversos autores.

Tabela 45- Resumo dos valores de I_D e ϕ em função da distribuição dos valores de N_{60}

N_{60}	I_D (%)	ϕ (°)	Freq. (%)			
	(Terzaghi e Peck, 1967)	(Meyerhof, 1956)	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4
4	20	30	0	0	0	0
4 - 10	20 - 40	30 - 35	0	0	0	75
10 - 30	40 - 60	35 - 40	44	100	80	0
30 - 50	60 - 80	40 - 45	33	0	0	25
50	80 - 100	45	22	0	20	0

Segundo o proposto por Terzaghi e Peck (1967), verificou-se que o solo do Campo Experimental 1 possui o maior índice de compacidade dentre os campos analisados, apresentando também o maior ângulo de atrito com 22% dos valores superiores a 45°.

A Figura 24 e a Figura 25, descrevem os histograma das frequências, segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967) e Skempton (1986) respectivamente.

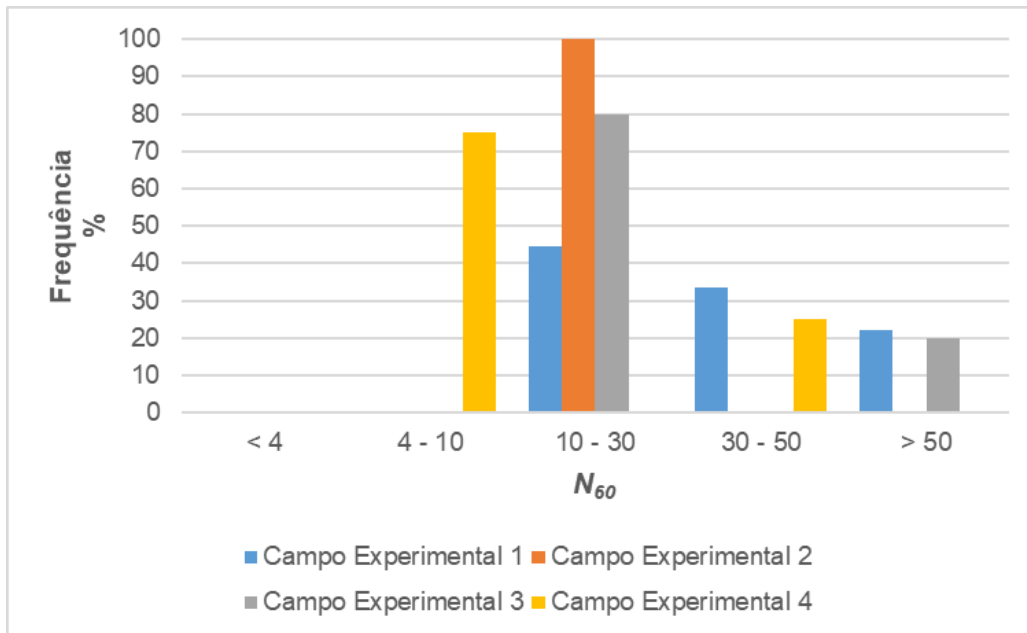


Figura 24- Histograma de frequência segundo as classes de compacidade propostas por Terzaghi e Peck (1967), relativas aos 4 campos experimentais

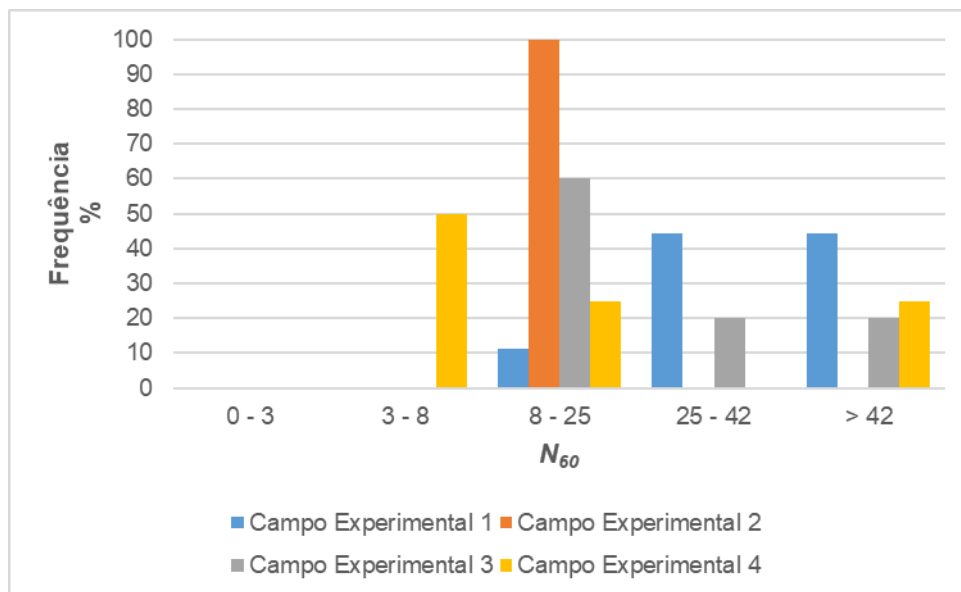


Figura 25- Histograma de frequência segundo as classes de compacidade propostas por Skempton (1986), relativas aos 4 campos experimentais

A partir do histograma dos 4 campos experimentais, Figura 24 e Figura 25, observa-se a ausência de resultados N_{60} inferiores a 10 golpes, ocorrendo em todos os campos com exceção do Campo Experimental 4.

A Tabela 46, a seguir apresenta um resumo da classificação do solo e a respectiva compacidade para o solo dos campos experimentais analisados.

Tabela 46- Classificação do solo e a respectiva compactidade

Campo Experimental	Classificação do solo ASTM D 2487-85		Compactidade
1	SM ou SC	Areia siltosa com cascalho ou Areia argilosa com cascalho	Mediamente densa
2	GM ou GC	Cascalho siltoso com areia ou Cascalho argiloso com areia	Mediamente densa
3	SM ou SC	Areia siltosa com cascalho ou Areia argilosa com cascalho	Mediamente densa
4	GM ou GC	Cascalho siltoso com areia ou Cascalho argiloso com areia	Solta

4- Análise e apresentação dos resultados

4.1- Considerações iniciais

A análise dos dados obtidos, consiste da aplicação dos tratamentos estatísticos com o objetivo de estabelecer as correlações entre o número de pancadas do ensaio Standard Penetration Test (SPT), N_{SPT} , e do ensaio feito com o Penetrômetro Dinâmico Super Pesado (DPSH), N_{DPSH} .

Observando as correlações já apresentadas na literatura nacional e internacional verifica-se que a grande maioria são correlações lineares do tipo $y = k \cdot x$, no caso em estudo, foi adotado como variável dependente o valor N_{SPT} , e como variável independente o valor N_{DPSH} . ($N_{SPT} = k \cdot N_{DPSH}$)

Utilizando o software Excel, através da aplicação do método dos mínimos quadrados, foram estabelecidas as regressões lineares entre as duas variáveis, com a reta a passar pela origem.

Na Figura 26 e Figura 27 estão representados respectivamente, em profundidade, a distribuição dos valores N_{SPT} e N_{DPSH} obtidos nos ensaios realizados nos quatro campos experimentais.

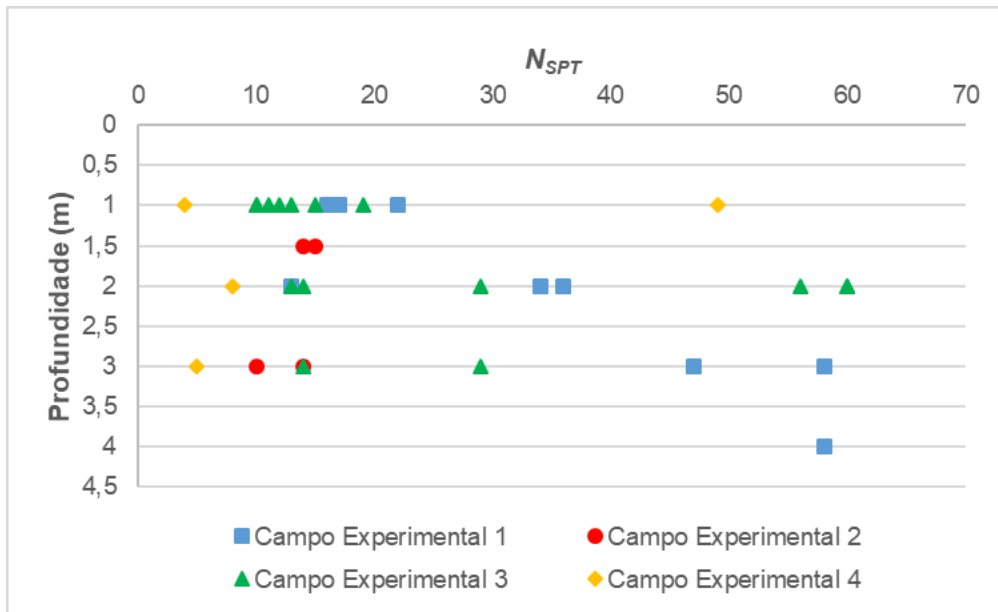


Figura 26- Distribuição dos valores N_{SPT} em profundidade

4.2- Critério de seleção dos dados

Sendo o registo do número de pancadas no ensaio DPSH realizado a cada 20 cm (N_{20}), enquanto o ensaio SPT se faz para 30 cm de penetração e para valores normalizados deste (N_{60}), os resultados das relações entre o número de pancadas dos dois ensaios, têm em consideração a razão entre os dois comprimentos à mesma profundidade

Apenas para o Campo Experimental 2 foram considerados os pares de dados de 1,5 m em 1,5 m, dado que o ensaio SPT foi executado em profundidade com esse compasso. Em relação aos Campos Experimentais 1, 3 e 4, o ensaio SPT foi realizado de 1 m em 1m.

Seguindo o proposto nos estudos de Afonso (2016), nos casos em que as profundidades não coincidiram, calculou-se a média entre os dois valores de N_{20} , anterior e posterior à profundidade pretendida. A Figura 29 representa o esquema da profundidade adotado.

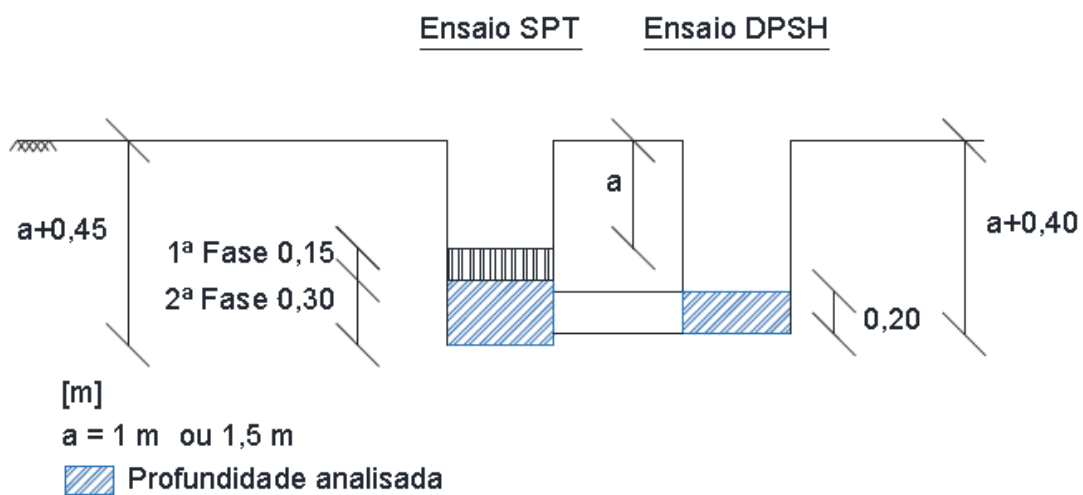


Figura 29- Esquema indicativo das profundidades analisadas (Afonso, 2016)

Em algumas exceções em profundidades de encerramento de ensaio, adotou-se valores próximos à profundidade analisada, sempre respeitando a área que abrange a profundidade analisada, causadas devido ao descompasso entre os ensaios.

Apesar dos esforços para a melhor obtenção de dados, é comum que o solo apresente heterogeneidade natural, e que os estudos enfrentem dificuldades relativas a limitação de dados e erros.

Estes e outros fatores de incerteza possuem diversas variáveis intervenientes o que impede a identificação dos pares de dados afetados, optou-se então pelo estabelecido de um critério para

eliminação dos pontos que se distanciavam da tendência do conjunto. Aplicando dois programas de análises, descritos como análise global e análise parcial, onde:

- Análise global: Considera todos os valores de k para os pares de dados;
- Análise parcial: Considera os valores de k que estiverem na faixa entre mais ou menos o desvio padrão do valor de k médio calculado na análise global.

A Figura 30 representa esquematicamente o que foi adotado para a análise parcial.

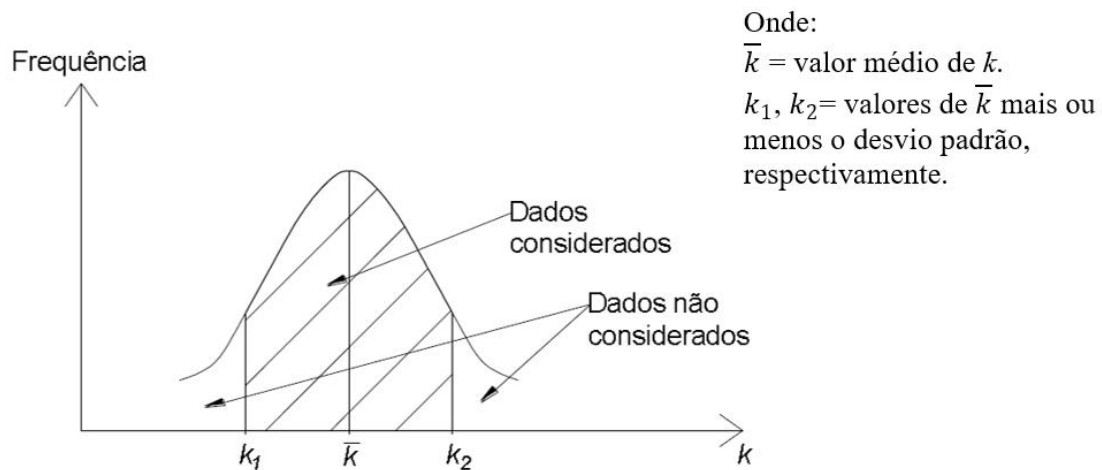


Figura 30- Critério adotado para eliminar os pontos discrepantes (adaptado, Politano, 1999 citado por Afonso, 2016)

4.3- Campo Experimental 1

No Campo Experimental 1, foram analisados 9 pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} , de acordo com a Tabela 47 e o gráfico de dispersão apresentado na Figura 31.

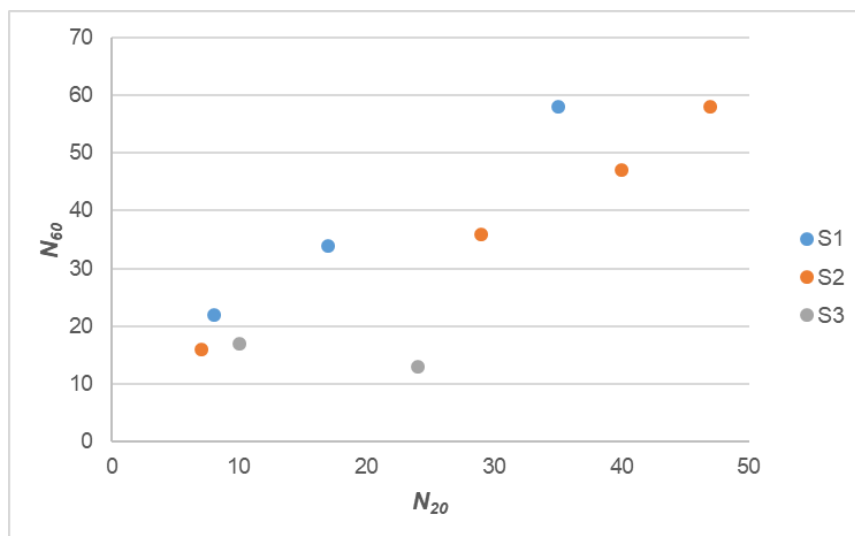


Figura 31- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 1

Tabela 47- Valores dos pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} do Campo Experimental 1

Ensaio	Prof. (m)	N_{SPT}	N_{DPSH}	k
S1	1,00	22	8	2,750
	2,00	34	17	2,000
	3,00	58	35	1,657
S2	1,00	16	7	2,286
	2,00	36	29	1,241
	3,00	47	40	1,175
	4,00	58	47	1,234
S3	1,00	17	10	1,700
	2,00	13	24	0,542
\bar{k}	1,62	Desv. Padrão		0,66
k_1	0,96	k_2		2,28

Da análise global dos dados, obteve-se a regressão apresentada na Figura 32.

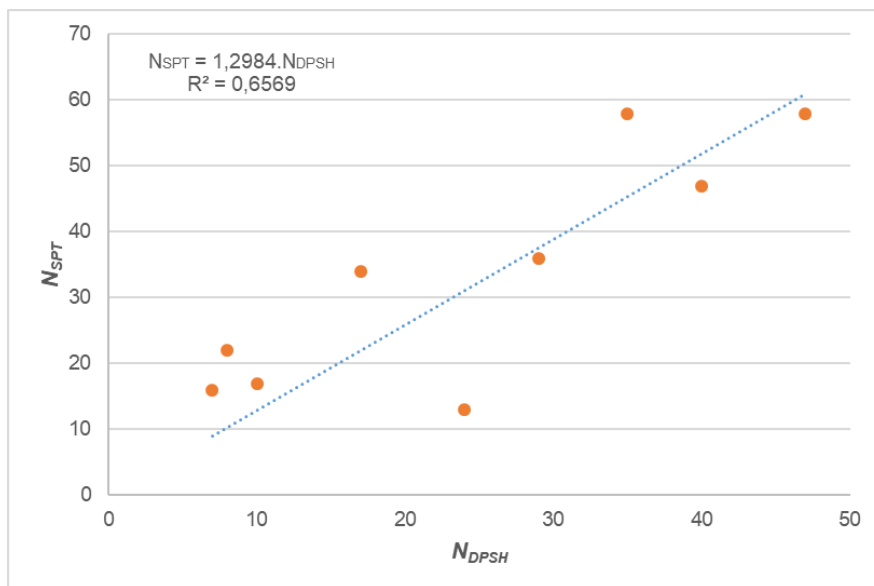


Figura 32- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 1: Análise global

Após a utilização dos critérios de seleção, realizou-se a análise parcial dos dados, obtendo a regressão apresentada na Figura 33.

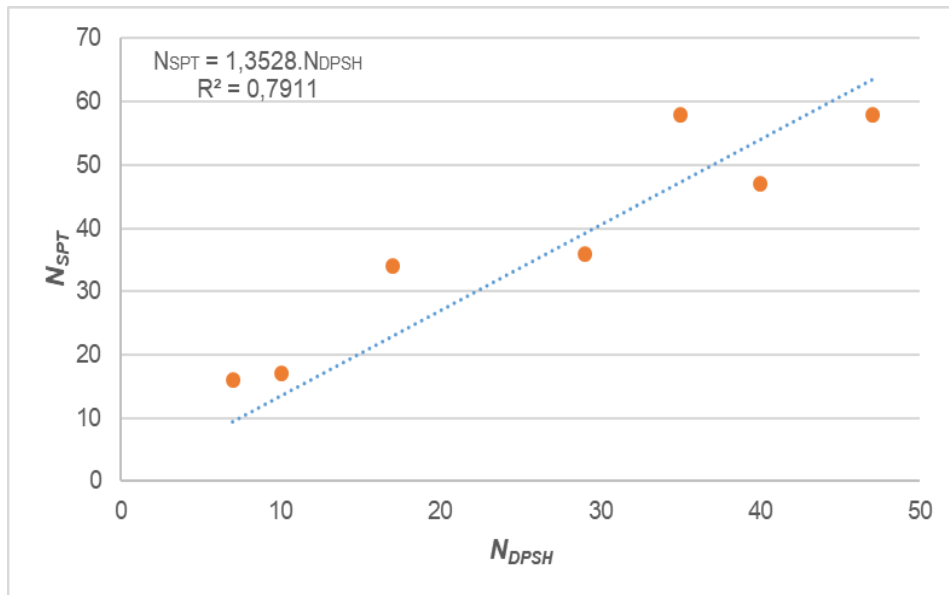


Figura 33- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 1: Análise parcial

A partir da análise parcial dos valores relativos ao Campo Experimental 1, resultaram os dados a seguir representados.

Tabela 48- Dados da análise parcial do Campo Experimental 1

$N_{SPT} = 1,4695 \cdot N_{DPSH}$	
\bar{k}	1,61
Desv. Padrão	0,43
R^2	0,7911

Da análise dos valores obtidos, verifica-se uma melhoria da regressão linear em relação à análise global, passando o coeficiente de determinação, R^2 , de 0,65 para 0,79 sendo $k = 1,35$.

4.4- Campo Experimental 2

No Campo Experimental 2, foram analisados 4 pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} , de acordo com a Tabela 49 e o gráfico de dispersão apresentado na Figura 34.

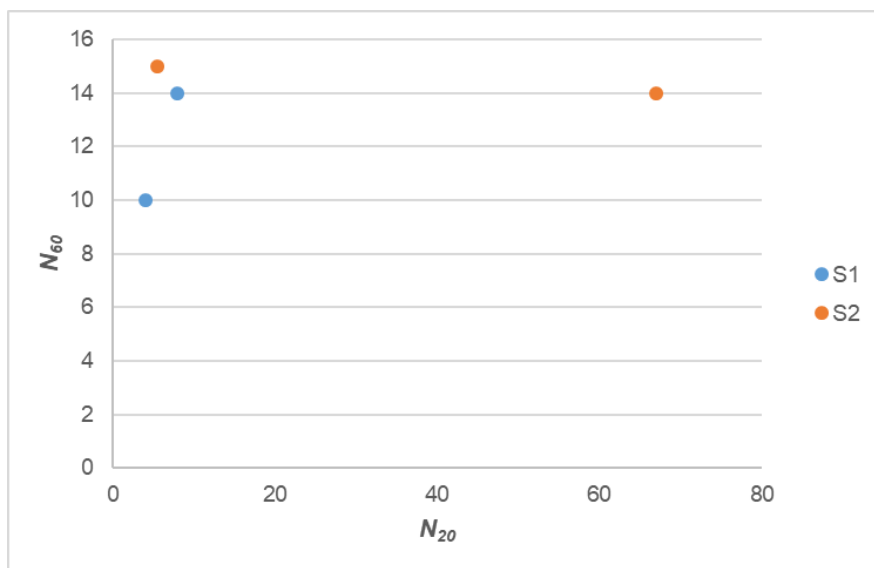


Figura 34- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 2

Tabela 49- Valores dos pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} do Campo Experimental 2

Ensaio	Prof. (m)	N_{SPT}	N_{DPSH}	k
S1	1,5	14	8	1,75
	3	10	4	2,50
S2	1,5	15	6	2,73
	3	14	67	0,21
\bar{k}	1,80	Desv. Padrão		1,14
k_1	0,66	k_2		2,93

Após a análise global dos dados obtidos, obteve-se a regressão apresentada na Figura 35.

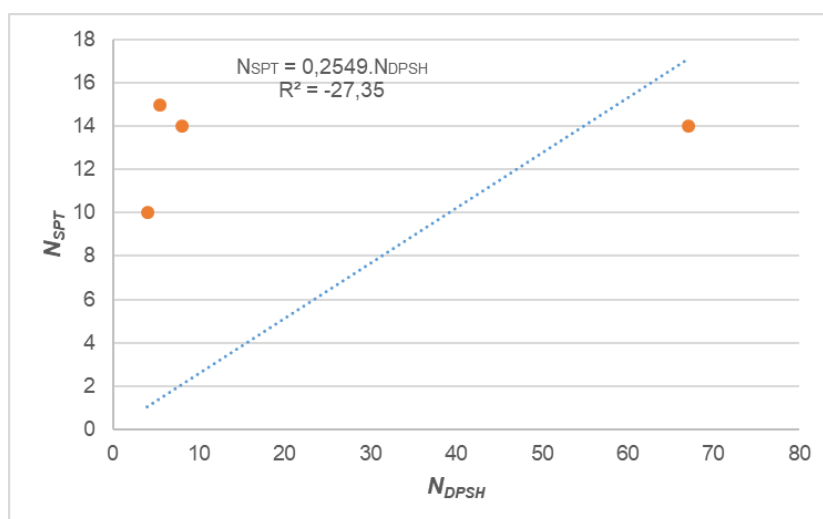


Figura 35- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 2: Análise global

Observa-se que na regressão linear do Campo Experimental 2, Figura 35, o valor obtido para o coeficiente de determinação, R^2 , é negativo, ou seja, não são observadas relações entre os resultados do ensaio.

Após a utilização dos critérios de seleção, realizou-se a análise parcial dos dados, obtendo a regressão apresentada na Figura 36.

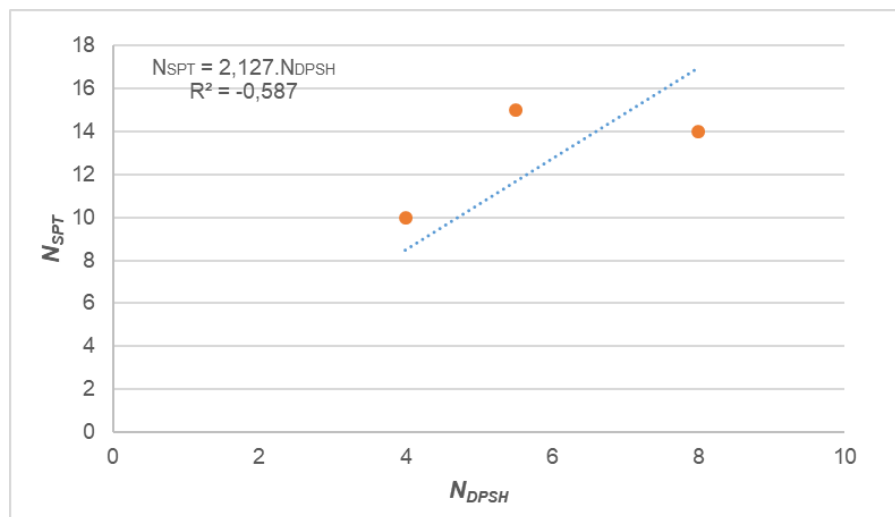


Figura 36- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 2: Análise parcial

Do exposto, os resultados dos dois ensaios no Campo Experimental 2 não são correlacionáveis. As correlações estimadas não são validadas por que o coeficiente de determinação, R^2 é negativo, o que levou a desconsideração das correlações obtidas neste campo.

Os motivos que impossibilitam a correlação podem ser diversos, como o já referido anteriormente, a obtenção de mais dados, ou a realização de novos ensaios é necessária para a determinação de uma correlação válida.

4.5- Campo Experimental 3

No Campo Experimental 3, foram analisados 15 pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} , de acordo com a Tabela 50 e o gráfico de dispersão apresentado na Figura 37.

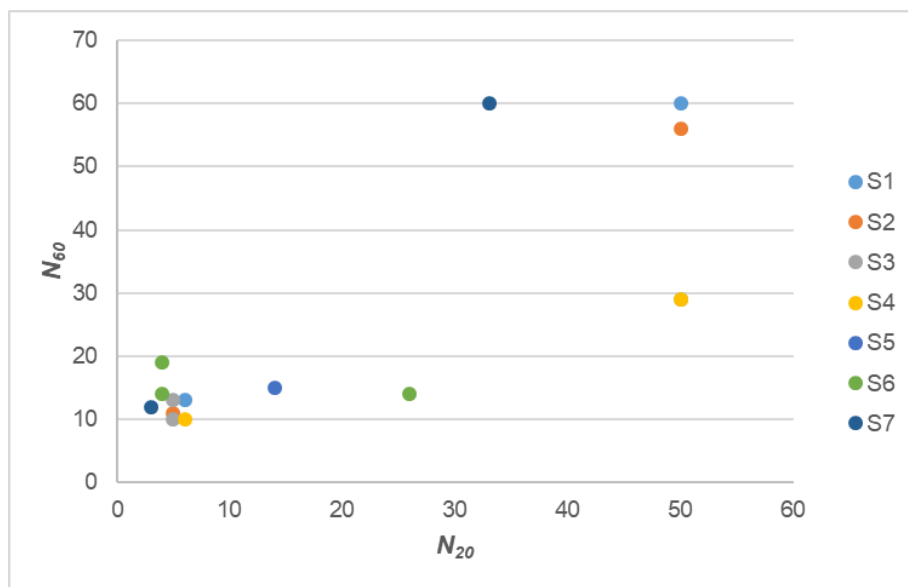


Figura 37- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 3

Tabela 50- Valores dos pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} do Campo Experimental 3

Ensaio	Prof. (m)	N_{SPT}	N_{DPSH}	k
S1	1	13	6	2,167
	2	60	50	1,200
S2	1	11	5	2,200
	2	56	50	1,120
S3	1	10	5	2,000
	2	13	5	2,600
	3	29	50	0,580
S4	1	10	6	1,667
	2	29	50	0,580
S5	1	15	14	1,071
S6	1	19	4	4,750
	2	14	4	3,500
	3	14	26	0,538
S7	1	12	3	4,000
	2	60	33	1,818
\bar{k}	1,99	Desv. Padrão		1,28
k_1	0,71	k_2		3,26

Da análise global dos dados obtidos, obteve-se a regressão apresentada na Figura 38.

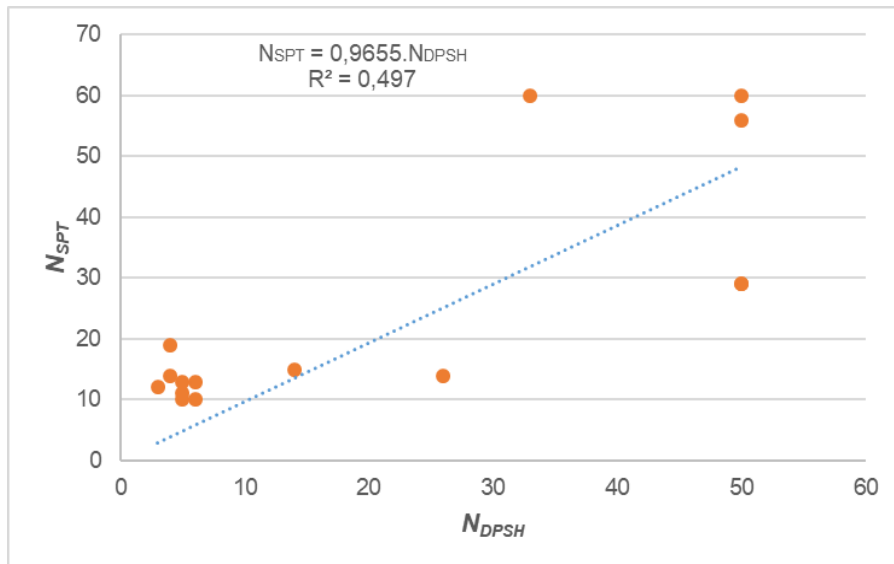


Figura 38- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 3: Análise global

Utilizando os critérios de seleção, realizou-se a análise parcial dos dados, obtendo a regressão apresentada na Figura 39.

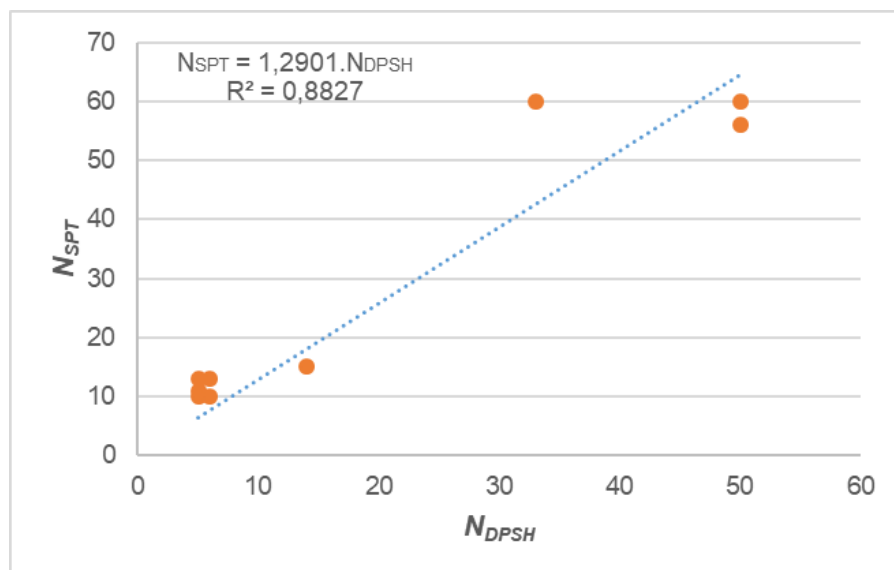


Figura 39- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 3: Análise parcial

Após a análise parcial dos valores relativos ao Campo Experimental 3, resultaram os dados a seguir representados.

Tabela 51- Dados da análise parcial do Campo Experimental 3

$N_{SPT} = 1,2901 \cdot N_{DPSH}$	
\bar{k}	1,76
Desv. Padrão	0,54
R^2	0,8827

Da análise dos valores obtidos, verifica-se uma melhoria da regressão linear em relação à análise global, passando o coeficiente de determinação, R^2 , de 0,49 para 0,88 sendo $k = 1,29$.

4.6- Campo Experimental 4

No Campo Experimental 4, foram analisados 4 pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} , de acordo com a Tabela 52 e o gráfico de dispersão apresentado na Figura 40.

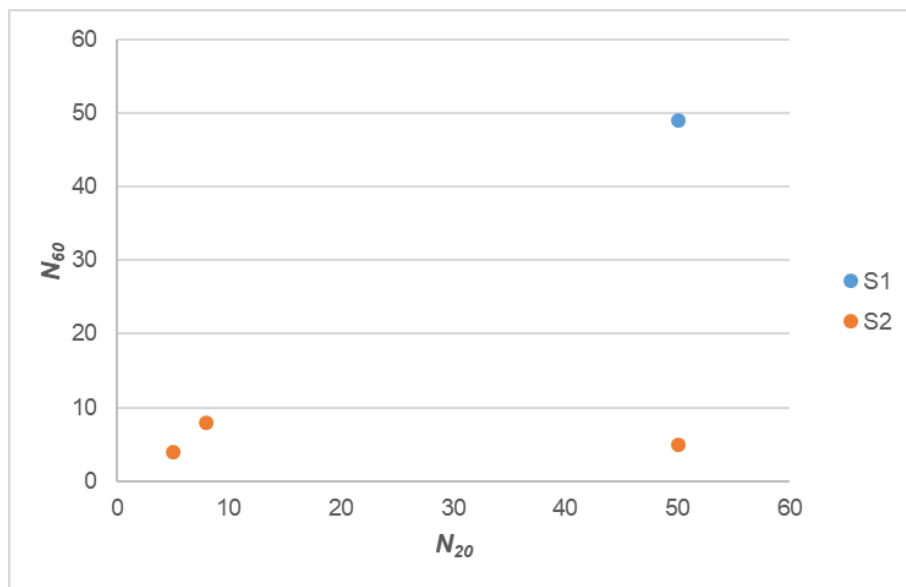


Figura 40- Distribuição dos pares de dados N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 4

Tabela 52- Valores dos pares de dados N_{SPT}/N_{DPSH} do Campo Experimental 4

Ensaio	Prof. (m)	N_{SPT}	N_{DPSH}	k
S1	1	49	50	0,980
S2	1	4	5	0,800
	2	8	8	1,000
	3	5	50	0,100
\bar{k}	0,72	Desv. Padrão		0,42
k_1	0,30	k_2		1,14

Da análise global dos dados, obteve-se a regressão apresentada na Figura 41.

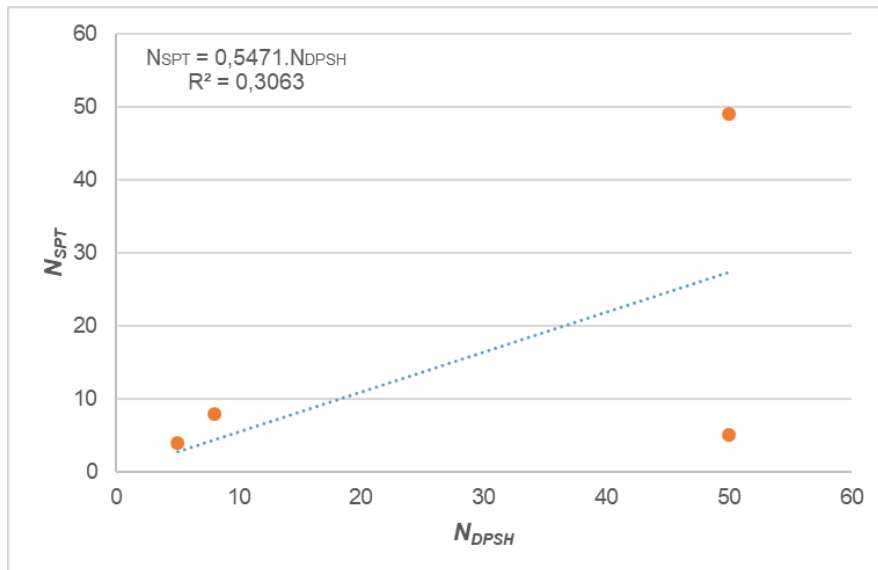


Figura 41- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 4: Análise global

Após a utilização dos critérios de seleção, realizou-se a análise parcial dos dados, obtendo a regressão apresentada na Figura 42.

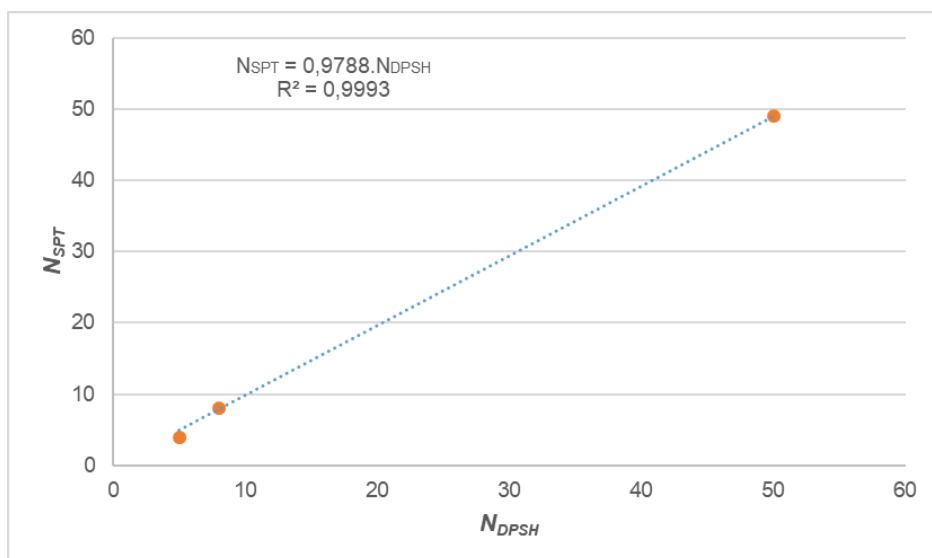


Figura 42- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} do Campo Experimental 4: Análise parcial

Após a análise parcial dos valores relativos ao Campo Experimental 4, resultaram os dados a seguir representados.

Tabela 53- Dados da análise parcial do Campo Experimental 4

$N_{SPT} = 0,9788 \cdot N_{DPSH}$	
\bar{k}	0,90
Desv. Padrão	0,14
R^2	0,9993

Analisando, verifica-se uma melhoria da regressão linear em relação à análise global, passando o coeficiente de determinação, R^2 , de 0,30 para 0,99 sendo $k = 0,97$.

4.7- Análise geral dos resultados obtidos nos campos experimentais

Na Tabela 54 é apresentado um resumo dos resultados das regressões lineares obtidas nos campos experimentais, representadas graficamente na Figura 43.

Tabela 54- Resultados das regressões lineares referentes aos dados dos ensaios SPT e DPSH para os quatro campos experimentais analisados.

Local	$k = N_{SPT}/N_{DPSH}$	R^2
Campo Experimental 1	1,35	0,79
Campo Experimental 2	-	-
Campo Experimental 3	1,29	0,88
Campo Experimental 4	0,97	0,99

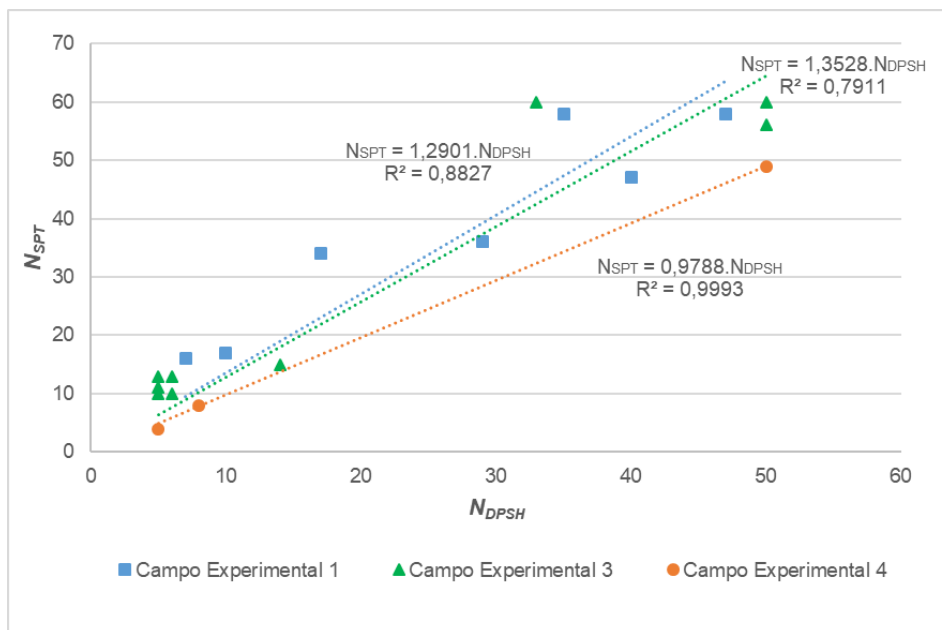


Figura 43- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} dos Campos Experimentais analisados: Análise parcial

Os valores obtidos de R^2 são elevados e próximos da unidade para os três campos considerados, o que indica a boa correlação linear existente entre os dois ensaios nos campos considerados.

4.8- Análise comparativa com resultados obtidos por outros autores

4.8.1- Comparação com resultados de Afonso (2016)

Afonso (2016), realizou seu estudo no Instituto Politécnico de Bragança, onde utilizou os mesmos equipamentos utilizados nos ensaios SPT e DPSH deste trabalho, disponibilizados pelo Laboratório de Geotecnia da ESTIG.

A Tabela 55 apresenta os resultados obtidos nos Campos Experimentais analisados por Afonso (2016) juntamente com os resultados obtidos neste estudo, assim como a classificação unificada dos solos (ASTM D2487-85), a compactidade e o coeficiente de determinação R^2 .

Verifica-se alterações nos valores dos coeficientes de determinação, causadas pela metodologia adotada neste estudo, que foi aplicada aos resultados propostos por Afonso (2016).

Tabela 55- Análise comparativa entre as relações obtidas e propostas por Afonso (2016)

Campo Experimental	Solos	Compactidade	k	R^2
1 - Afonso (2016)	SM	Densa a muito densa	1,51	0,41
2 - Afonso (2016)	SM ou SC	Medianamente densa a muito densa	1,48	0,79
3 - Afonso (2016)	SM ou SC	Medianamente densa a muito densa	0,70	0,59
1	SM ou SC	Medianamente densa	1,35	0,79
3	SM ou SC	Medianamente densa	1,29	0,88
4	GM ou GC	Solta	0,97	0,99

Observa-se que os resultados das correlações k , obtidos neste trabalho estão entre os resultados máximos e mínimos atingidos pelos trabalhos realizados por Afonso (2016), o que pode ser entendido como um bom indicador a respeito dos resultados obtidos.

Na Tabela 56 estão apresentadas as composições granulométricas médias dos solos prospectados no trabalho de Afonso (2016) e dos solos deste estudo.

Tabela 56- Análise comparativa entre composição granulométrica do solo

Campo Experimental	Solos	Composição (%)		
		Areia	Seixo	Silte + Argila
1 - Afonso (2016)	SM	44%	27%	29%
2 - Afonso (2016)	SM ou SC	46%	18%	36%
3 - Afonso (2016)	SM ou SC	46%	30%	24%
1	SM ou SC	44%	15%	41%
3	SM ou SC	27%	25%	48%
4	GM ou GC	29%	24%	47%

Ao analisar a composição granulométrica média dos solos dos campos experimentais, nota-se que os campos que apresentam maior semelhança de composição são os Campos Experimentais 1 deste trabalho e o Campo Experimental 2 do trabalho do Afonso (2016), sendo também estes que indicam maiores proximidades entre as correlações, com valores de k de 1,35 e 1,48 respectivamente.

A seguir é apresentada na Figura 44 a regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} , dos resultados obtidos na análise parcial, junto com as regressões lineares obtidas na análise parcial realizada por Afonso (2016).

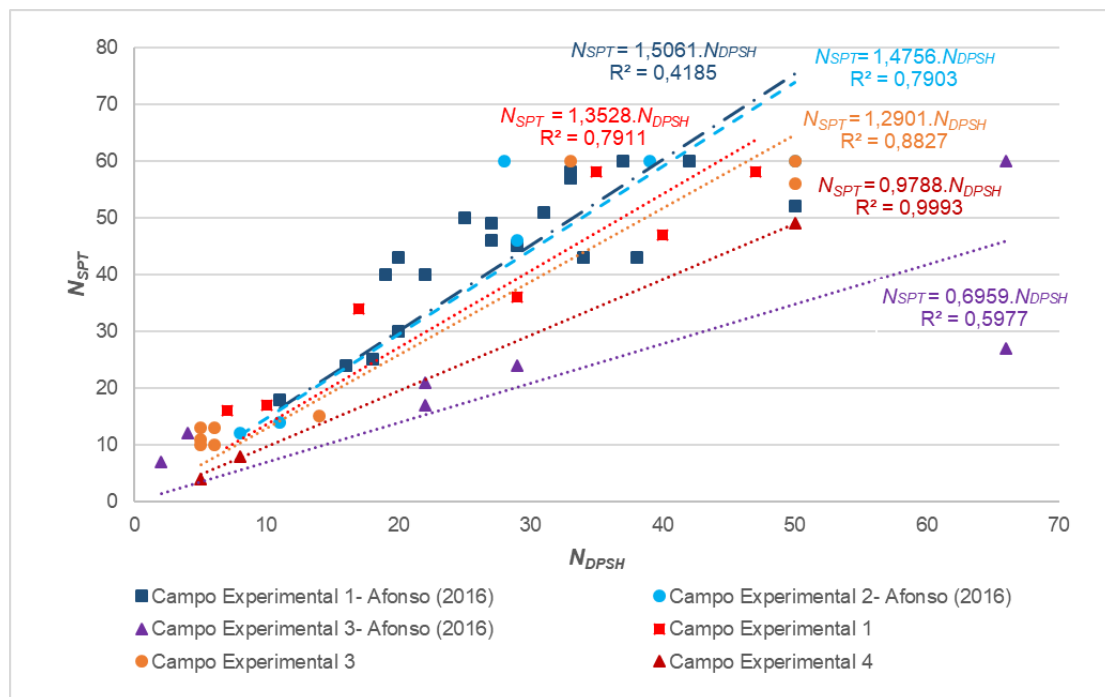


Figura 44- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} dos Campos Experimentais em comparação aos Campos propostos por Afonso (2016): Análise parcial

Considerando as correlações individuais e o processo de análise parcial, foi determinada a regressão linear dos campos experimentais que possuem classificação semelhante (SM ou SC), nomeadamente os campos 1 e 3 deste estudo juntamente com os campos experimentais 1, 2 e 3 referidos nos trabalhos de Afonso (2016). A Figura 45 apresenta esta regressão linear de todos os pontos.

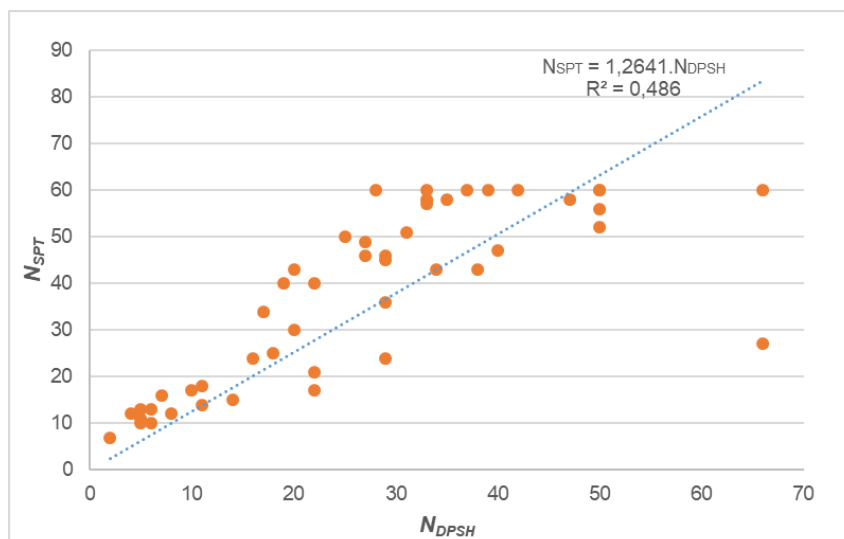


Figura 45- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} de todos os Campos Experimentais (SM e SC) juntamente aos campos propostos por Afonso (2016): Análise global

Ao considerar todos os campos, verificou-se um valor de pouca relevância para o coeficiente de determinação R^2 , o que torna a correlação questionável.

Entretanto, verificou-se que o Campo Experimental 3 do trabalho realizado por Afonso (2016) apresenta um valor de k significativamente diferente dos outros campos analisados, o que levou a repetição do processo sem considera-lo, a regressão obtida pode ser observada na Figura 46.

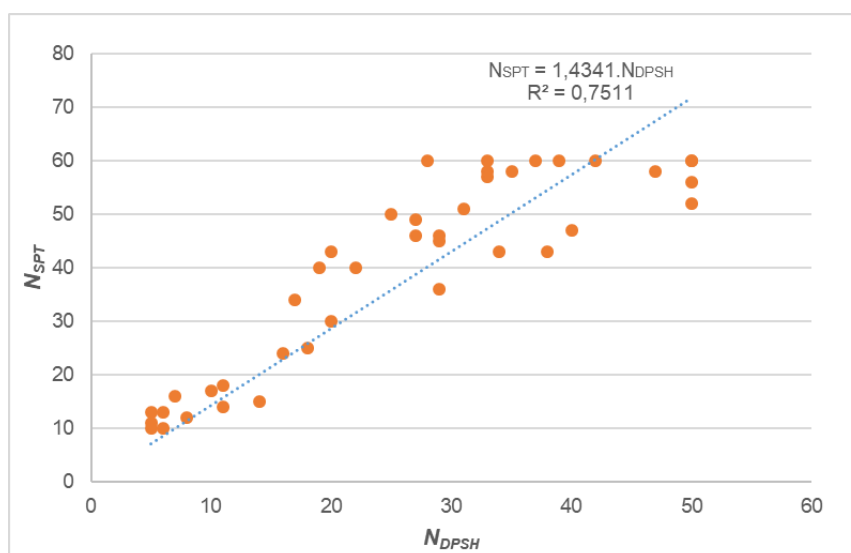


Figura 46- Regressão linear entre N_{SPT} e N_{DPSH} de todos os Campos Experimentais (SM e SC) juntamente aos campos 1 e 2 propostos por Afonso (2016): Análise parcial

Verifica uma melhora considerável no coeficiente de determinação R^2 , saltando de 0,48 em uma ampla análise para 0,75 em uma análise refinada, obtendo um valor de k de 1,43.

4.8.2- Análise com resultados da bibliográfica

Ao analisar os resultados bibliográficos nota-se uma diversidade de metodologias, equipamentos e tipos de solos, o que dificulta a realização de análises comparativas profundas entre os resultados.

Os limites teóricos propostos por Viana da Fonseca (1996), consideram as secções transversais dos amostradores e estabelecem os limites com base em relações energéticas, mesmo sendo contestados posteriormente pelo próprio autor devido a não linearidade da correlação.

A Figura 47 apresenta a relação entre os valores N_{SPT}/N_{DPSH} e N_{SPT} , junto aos limites teóricos apresentados por Viana da Fonseca (1996).

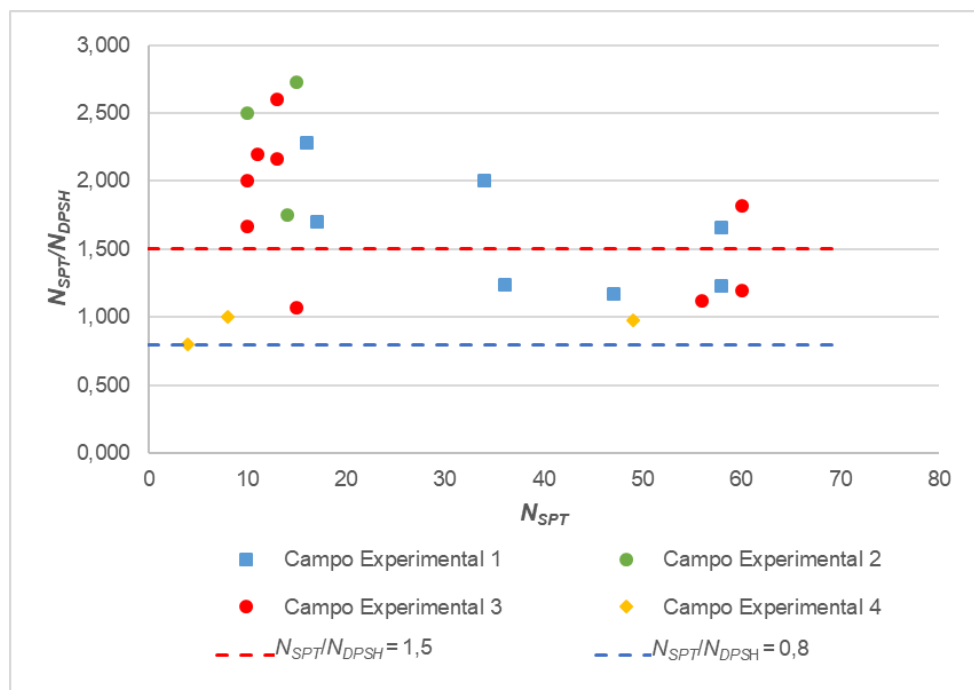


Figura 47- Relação entre os valores obtidos de N_{SPT}/N_{DPSH} e N_{SPT} e os limites teóricos

E notável que o Campo Experimental 2 apresente todos os pontos fora dos limites teóricos estabelecidos por Viana da Fonseca (1996), sendo este o campo onde não foi possível o estabelecimento de correlação.

Como descrito por Viana da Fonseca (1996), os valores baixos de N_{SPT} correspondem a níveis baixos de confinamento, o que leva a uma aproximação do limite teórico inferior de 0,8. Esta relação pode ser observada no Campo Experimental 4, que apresenta a compacidade do solo como solta e apresenta o valor de k de 0,97.

Viana da Fonseca (1996) indicou também que a relação em solos residuais de granito a partir dos 20 golpes de N_{SPT} tenderia a valores superiores a 1,5. Nos solos analisados esta tendência aparece de maneira tímida e o que ocorre é uma grande dispersão de valores acima de 1,5 nos resultados inferiores a 20 golpes N_{SPT} .

Esta dispersão observada pode ser causada por diversos fatores, como erros humanos, interceptação de heterogeneidades do solo, dentre outros fatores discutidos ao longo do trabalho.

Entretanto, se consideramos as correlações obtidas para cada Campo Experimental, é notável a adequação aos limites teóricos, onde os três campos analisados apresentam valores k de 0,97 a 1,35 dentro dos limites teóricos propostos de 0,8 a 1,5.

5- Conclusões e estudos futuros

A determinação das correlações entre os ensaios Standard Penetration Test (SPT) e Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (DPSH), é favorecida por semelhanças existentes entre as características dos dois equipamentos utilizados, relacionadas principalmente ao equipamento de aplicação de golpes.

Entretanto ao comparar os equipamentos que transmitem os golpes aos solos, nomeadamente o amostrador de Terzaghi utilizado no ensaio SPT e a ponteira utilizada no ensaio DPSH, verifica-se uma menor capacidade de penetração do amostrador SPT.

As relações obtidas entre o número de pancadas dos ensaios SPT e DPSH (N_{SPT}/N_{DPSH}) variam entre 0,97 a 1,35, com o coeficiente de determinação, R^2 , variando entre 0,79 a 0,99 apontando uma boa correlação entre os resultados dos ensaios.

Quando comparadas a relações propostas por outros autores, como os limites teóricos propostos por Viana da Fonseca (1986) variando entre 0,8 a 1,5, ou a Afonso (2016) com resultados de k apresentados entre 0,7 a 1,51, nota-se uma boa adequação dentre os resultados obtidos e o que já foi proposto, sendo fator positivo na continuidade dos estudos a respeito destas correlações.

Ressalta-se que os usos das correlações obtidas não são aplicáveis a outros tipos de solos ou outros equipamentos, caso contrário pode levar a resultados incorretos.

Para o desenvolvimento futuro, seria de grande interesse a realização de novos ensaios, sendo recomendável que as correlações obtidas estejam também relacionadas a aspectos do solo como características físicas e compacidade.

A diversificação dos solos prospectados é positiva, e deve ajudar a compreender como as correlações podem variar, uma vez que os fatores de divergência entre os resultados das correlações indicam estar relacionados ao grau de consolidação do solo e ao tipo de solo analisado.

Referências Bibliográficas

AFONSO, André Filipe Gonçalves (2016) - Correlações entre resultados de ensaios in situ de penetração dinâmica DP com o ensaio Standard Penetration Test, Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança.

AZEREDO, H. A. (1997) - O edifício até sua cobertura, Ed Edgard Blucher LTDA, 2ª Ed.

BARBOSA Pereira, Luísa (2015) - Estudo comparativo entre SPT e sísmica rasa para determinação de parâmetros geotécnicos em uma área de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

BAZARAA, A.R.S.S. (1967). Use of Standar Penetration Test for estimating settlement of shallow foundations on sand PH.D. I'hesis, University of Illínois, Urbana.

BESSA, C. S. R. B. (2009). Caracterização mecânica dos maciços através de ensaios in situ. Tese de Mestrado. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

BONDO, H. e CARVALHO, I. (2011). Caracterização geológica e geotécnica da área de implementação do novo porto de Luanda a partir de resultados SPT. Universidade Agostinho Neto. Luanda, Angola.

BRITO, J. L. W. Fundações do edifício. São Paulo: EPUSP, 1987.

BURMISTER, D.M., (1948). The importance and practical use of relative density in soil mechanics. ASTM, vol 48. Philadelphia.

CAETANO Castro, Ricardo (2018) - Estudo de caso entre a relação do solo e a escolha do tipo de fundação no município de formiga – MG, Brasil.

CASTRO, Guy de. (1988). Penetrómetros. Penetrómetro Estático Tipo Holandês (CPT). Penetrómetros dinâmicos (SPT) e (PDL) OU (DPL), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. Ed, V. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CARVALHO, Sidney Franco (2017). Prova dinâmica super pesada – DPSH: Uma proposta de correlação com a sondagem de simples reconhecimento SPT. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

CAVALCANTE, E. H. (2002). Investigação teórico-experimental sobre o SPT. Tese de Doutorado. Universidade do Rio de Janeiro, Brasil.

CAVALEIRO, V. M. P. (2001). Caracterização geotécnica da zona de expansão urbana da Covilhã. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

CAVALEIRO, V. M. P. Correlação entre o ensaio de penetração dinâmica super pesado (DPSH) e o ensaio de penetração dinâmica normalizado (SPT) em solos granitos da Covilhã. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

COELHO, S. (1996). Tecnologia das Fundações. Edições E. P. G. E, Lisboa.

CRUZ, N. (2010). Modelling Geomechanics of Residual Soils with DMT Tests.


- DUARTE, I. M. R. (2002). Solos Residuais de Rochas Granitóides a Sul do Tejo – Características Geológicas e Geotécnicas. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.
- EN ISO 22476-2 Investigação e Ensaio Geotécnicos. Ensaio de Campo. Parte 2: Ensaio de Penetração Dinâmica (ISO 22476-2:2005).
- EN ISO 22476-3 Investigação e Ensaio Geotécnicos. Ensaio de Campo. Parte 3: Ensaio de Penetração Dinâmica Standard (ISO 22476-3:2005).
- FILHO, C.E.A. (2010). Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização do penetrómetro dinâmico leve. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil.
- FOLQUE, J. (1996). Introdução à mecânica dos solos. (2ª ed.), LNEC, Lisboa.
- GIULIANI, F., Nicoll, F.L. (1982). New Analytical correlations between SPT, overburden pressure and relative density. Proc. 2th. Europ. Symp. on Penetration Testing, Amsterdam.
- HATANAKA, M., Uchida, A. (1996). Empirical correlation between penetration resistance and effective friction of sandy soil”. Soils and Foundations, vol 36.
- HUNT, R.E. (1984). Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw-Hill Book Co. New York.
- IGEOTEST (2004). Ensayos Geotecnicos In Situ – su ejecución e interpretación. Girona, Espanha.
- KULHAWY, F.H. y Mayne, P.H. (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design. Electric Power Research Institute, EPRI, August, 1990.
- LIMA, A. Vamos falar de sondagem: sondagem a trado. Engenheiro Caiçara. São Vicente, SP, 2017.
- LOPES, I. M. F. (2001). Avaliação das condições geológicas e geotécnicas para a caracterização do risco sísmico – Aplicação à colina do castelo de S. Jorge. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- LOPES, M. S. (2008). Avaliação da eficácia energética no ensaio SPT. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- MATOS FERNANDES, M. (2006). Mecânica dos Solos. Conceitos e Princípios Fundamentais, Vol.1. Edições FEUP, Porto.
- MATOS FERNANDES, M. (2011). Mecânica dos Solos. Introdução à Engenharia Geotécnica, Vol.2. Edições FEUP, Porto.
- MAYNE, P., Christopher, B., & Dejong, J. (2002). Subsurface Investigation – Geotechnical Site Characterization. Reference Manual. National Highway Institute. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- MEYERHOF, G.G. (1956). Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soil. Jour. Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 82, SMI.

- MUROMACHI, T. (1974). Experimental Study on Application of Static Cone Penetrometer to Subsurface Investigation of Weak Cohesive Soils. Proc. Europ. Conf. on Pen. Test., Stockolm, Vol 2.
- NUNES VEIGA, A. (2011). Caracterização Geotécnica dos Terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- PECK, R.B., Hanson, J.B. y Thornburn, S., (1974). Foundation Engineering, 2nd Edition, John Willey & Sons Ed. New York.
- RIBEIRO, J. M. C. (2011). Avaliação e correlação de parâmetros físicos e mecânicos de um solo residual granítico. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- SANTOS de Souza, J. M. (2009). A influência da compactidade das areias nas correlações entre os ensaios de cone e o SPT. Tese de Mestrado. Universidade do Rio de Janeiro, Brasil.
- SKEMPTON, A.W. (1986). Standar Penetration Test Procedure and Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation. Geotechnique 36, N°3.
- TERZAGHI, K., Peck, R.B. (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice. Ed. John Wiley, and Sons, New York.
- VIANA DA FONSECA et al. (2000). Caracterização geotécnica de um troço de túnel 1 – Porto. Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- VIANA DA FONSECA, A. (1996). Geomecânica dos Solos Residuais do Granito do Porto. Critérios para Dimensionamento de Fundações Diretas. Tese de Doutoramento, FEUP, Porto.
- VIANA DA FONSECA, A. Projeto Geotécnico Assistido por Ensaios de Laboratório e In Situ. Texto de apoio, FEUP, Porto.

Anexos

Anexos 1 – Análise Granulométrica

Campo Experimental 1 - Matadouro

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P1.1
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	271,20
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	95,40
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	175,80


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	34,20	12,61	12,61	87,39
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	12,61	87,39
9,51 - (³ / ₈)	22,70	8,37	20,98	79,02
4.76 - (n4)	16,50	6,08	27,06	72,94
2 - (n10)	22,00	8,11	35,18	64,82
< 2,00 - (n10)	175,80	64,82		
TOTAL	271,20	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	83,40	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		64,82
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	11,00	8,55	43,73	56,27
40	8,40	6,53	50,26	49,74
60	5,70	4,43	54,69	45,31
140	10,80	8,39	63,08	36,92
200	4,00	3,11	66,19	33,81
< 200	43,50			
TOTAL	83,40			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P1.2
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	941,20
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	208,10
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	733,10


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10 - (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (3/8')	55,00	5,84	5,84	94,16
4.76 - (n4)	57,50	6,11	11,95	88,05
2 - (n10)	95,60	10,16	22,11	77,89
< 2,00 - (n10)	733,10	77,89		
TOTAL	941,20	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	100,70	$N''10 = (m'10/mt) \times 100 =$		77,89
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	12,90	9,98	32,09	67,91
40	12,00	9,28	41,37	58,63
60	9,60	7,43	48,80	51,20
140	17,70	13,69	62,49	37,51
200	4,80	3,71	66,20	33,80
< 200	43,70			
TOTAL	100,70			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P1.3
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	974,00
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	80,50
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	893,50

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10 - (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (3/8')	5,00	0,51	0,51	99,49
4.76 - (n4)	17,60	1,81	2,32	97,68
2 - (n10)	57,90	5,94	8,26	91,74
< 2,00 - (n10)	893,50	91,74		
TOTAL	974,00	100,00		

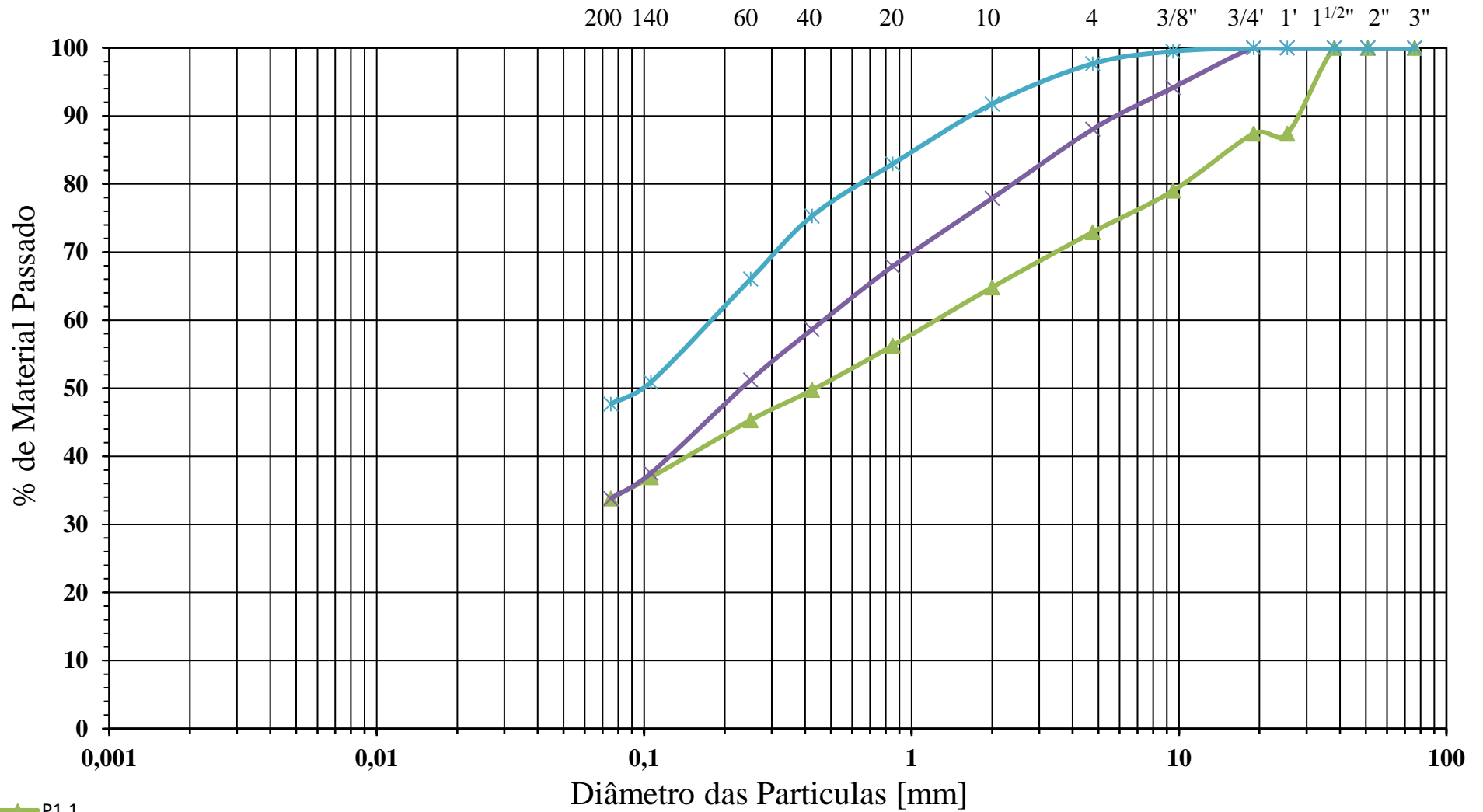
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	113,90	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		91,74
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	10,90	8,78	17,04	82,96
40	9,50	7,65	24,70	75,30
60	11,50	9,26	33,96	66,04
140	18,80	15,14	49,10	50,90
200	4,00	3,22	52,32	47,68
< 200	59,20			
TOTAL	113,90			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P1



- ▲ P1.1
- ✕ P1.2
- ✕ P1.3

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P2.1
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	573,00
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	91,30
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	481,70


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	25,80	4,50	4,50	95,50
4.76 - (n4)	24,50	4,28	8,78	91,22
2 - (n10)	41,00	7,16	15,93	84,07
< 2,00 - (n10)	481,70	84,07		
TOTAL	573,00	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	98,50	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		84,07
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	10,90	9,30	25,24	74,76
40	9,50	8,11	33,34	66,66
60	7,90	6,74	40,09	59,91
140	15,60	13,31	53,40	46,60
200	6,70	5,72	59,12	40,88
< 200	47,90			
TOTAL	98,50			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº: P2.2
	Data inicial:	-	
	Data final:	-	
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança

Massa total da amostra: (g)	mt=	926,00
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	275,90
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	650,10


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10 - (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	22,50	2,43	2,43	97,57
9,51 - (3/8')	56,10	6,06	8,49	91,51
4.76 - (n4)	67,10	7,25	15,73	84,27
2 - (n10)	130,20	14,06	29,79	70,21
< 2,00 - (n10)	650,10	70,21		
TOTAL	926,00	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	91,10	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		70,21
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	17,90	13,79	43,59	56,41
40	11,10	8,55	52,14	47,86
60	7,70	5,93	58,08	41,92
140	14,20	10,94	69,02	30,98
200	4,60	3,54	72,57	27,43
< 200	35,60			
TOTAL	91,10			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P2.3
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	899,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	49,20
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	849,90


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (3/8')	11,10	1,23	1,23	98,77
4.76 - (n4)	14,30	1,59	2,83	97,17
2 - (n10)	23,80	2,65	5,47	94,53
< 2,00 - (n10)	849,90	94,53		
TOTAL	899,10	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	92,80	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		94,53
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	4,90	4,99	10,46	89,54
40	7,00	7,13	17,59	82,41
60	7,80	7,95	25,54	74,46
140	15,50	15,79	41,33	58,67
200	6,00	6,11	47,44	52,56
< 200	51,60			
TOTAL	92,80			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº: P2.4
	Data inicial:	-	
	Data final:	-	
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança

Massa total da amostra: (g)	mt=	1129,50
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	137,00
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	992,50


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	29,50	2,61	2,61	97,39
9,51 - (3/8')	6,20	0,55	3,16	96,84
4.76 - (n4)	26,80	2,37	5,53	94,47
2 - (n10)	74,50	6,60	12,13	87,87
< 2,00 - (n10)	992,50	87,87		
TOTAL	1129,50	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	86,60	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		87,87
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	8,00	8,12	20,25	79,75
40	9,50	9,64	29,89	70,11
60	7,50	7,61	37,50	62,50
140	16,60	16,84	54,34	45,66
200	5,20	5,28	59,62	40,38
< 200	39,80			
TOTAL	86,60			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P2.5
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	314,20
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	29,70
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	284,50

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (3/8')	0,00	0,00	0,00	100,00
4.76 - (n4)	8,20	2,61	2,61	97,39
2 - (n10)	21,50	6,84	9,45	90,55
< 2,00 - (n10)	284,50	90,55		
TOTAL	314,20	100,00		

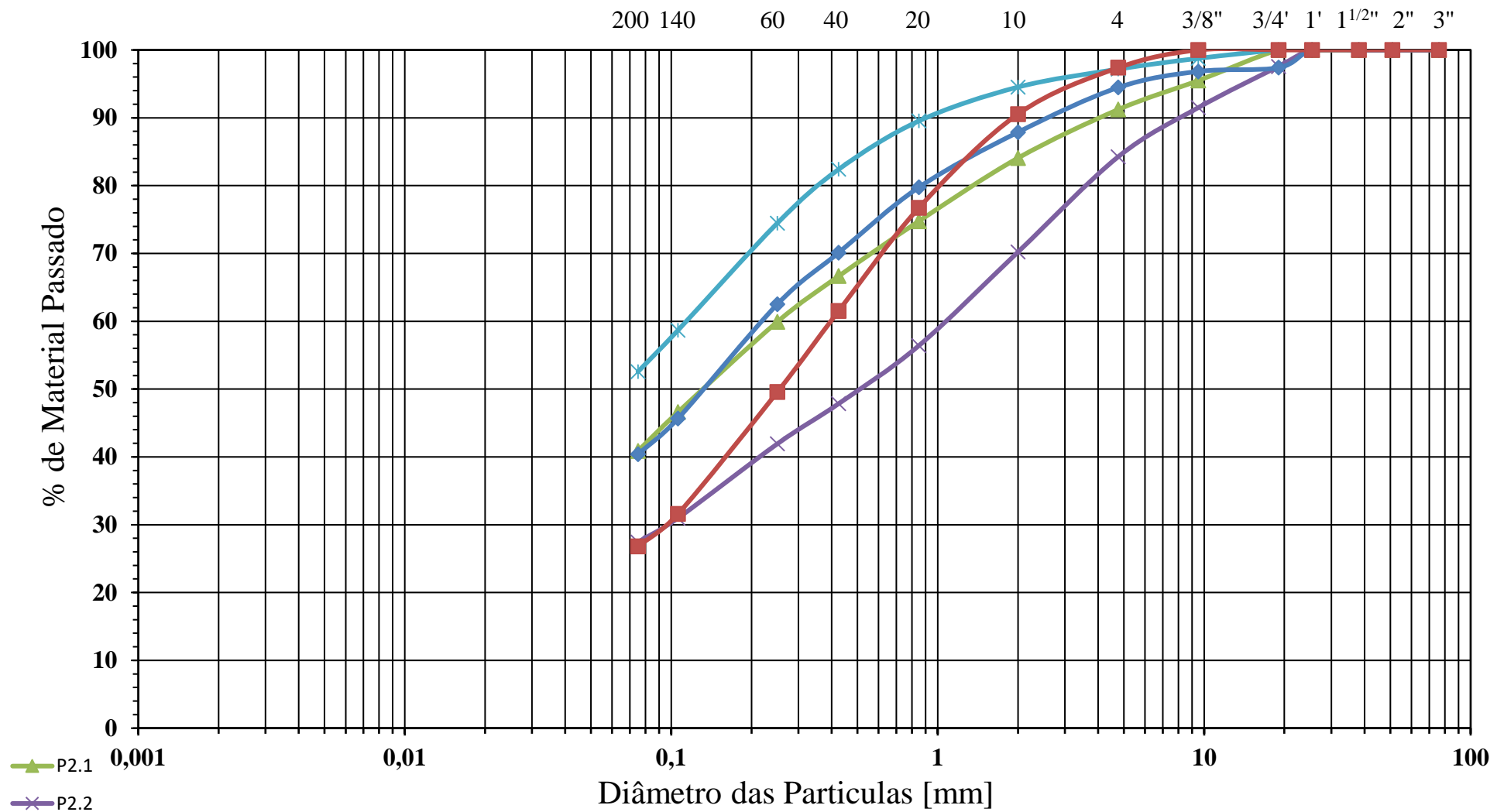
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	98,30	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		90,55
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	15,00	13,82	23,27	76,73
40	16,50	15,20	38,47	61,53
60	13,00	11,97	50,44	49,56
140	19,50	17,96	68,41	31,59
200	5,20	4,79	73,20	26,80
< 200	29,10			
TOTAL	98,30			

Bragança, 15 de junho de 2018


O Técnico

A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P2



Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº: P3.1
	Data inicial:	-	
	Data final:	-	
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança

Massa total da amostra: (g)	mt=	704,90
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	17,60
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	687,30


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	3,00	0,43	0,43	99,57
4.76 - (n4)	4,30	0,61	1,04	98,96
2 - (n10)	10,30	1,46	2,50	97,50
< 2,00 - (n10)	687,30	97,50		
TOTAL	704,90	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	87,10	$N''10 = (m'10/mt) \times 100 =$		97,50
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	4,10	4,59	7,09	92,91
40	5,30	5,93	13,02	86,98
60	6,70	7,50	20,52	79,48
140	15,90	17,80	38,32	61,68
200	8,00	8,96	47,27	52,73
< 200	47,10			
TOTAL	87,10			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P3.2
	Data inicial:	-		
Data final:	-			
Cliente:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	537,80
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	56,00
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	481,80


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	0,00	0,00	0,00	100,00
4.76 - (n4)	19,00	3,53	3,53	96,47
2 - (n10)	37,00	6,88	10,41	89,59
< 2,00 - (n10)	481,80	89,59		
TOTAL	537,80	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	146,70	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		89,59
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	10,00	6,11	16,52	83,48
40	12,00	7,33	23,85	76,15
60	13,10	8,00	31,85	68,15
140	31,00	18,93	50,78	49,22
200	11,80	7,21	57,99	42,01
< 200	68,80			
TOTAL	146,70			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P3.3
	Data inicial:	-		
Data final:	-	Local da Colheita:	Matadouro CMB, Bragança	
Cliente:	-			

Massa total da amostra: (g)	mt=	752,40
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	85,60
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	666,80

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	30,00	3,99	3,99	96,01
4.76 - (n4)	18,60	2,47	6,46	93,54
2 - (n10)	37,00	4,92	11,38	88,62
< 2,00 - (n10)	666,80	88,62		
TOTAL	752,40	100,00		

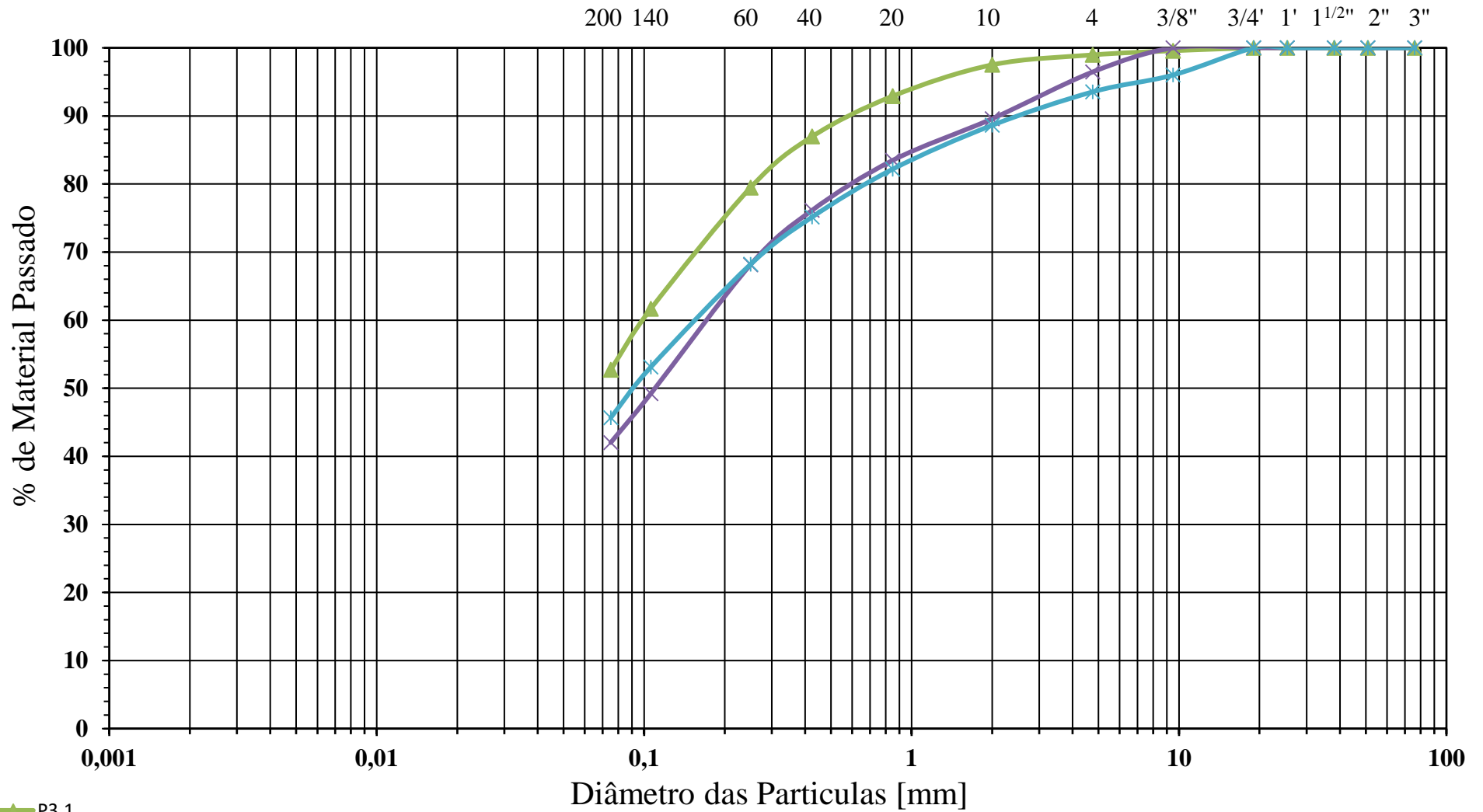
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	121,10	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		88,62
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	8,80	6,44	17,82	82,18
40	9,60	7,03	24,84	75,16
60	9,50	6,95	31,79	68,21
140	20,60	15,08	46,87	53,13
200	10,20	7,46	54,33	45,67
< 200	62,40			
TOTAL	121,10			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior


ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P3



- ▲ P3.1
- ✖ P3.2
- ✱ P3.3

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

Campo Experimental 2 - ETA

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P1.1
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	ETA França, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	353,20
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	161,00
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	192,20


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	22,80	6,46	6,46	93,54
9,51 - (³ / ₈)	50,70	14,35	20,81	79,19
4.76 - (n4)	44,00	12,46	33,27	66,73
2 - (n10)	43,50	12,32	45,58	54,42
< 2,00 - (n10)	192,20	54,42		
TOTAL	353,20	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	111,20	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		54,42
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	22,50	11,01	56,59	43,41
40	12,60	6,17	62,76	37,24
60	7,80	3,82	66,58	33,42
140	10,50	5,14	71,72	28,28
200	3,20	1,57	73,28	26,72
< 200	54,60			
TOTAL	111,20			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P1.2
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	ETA França, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	501,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	195,80
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	305,30

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	23,00	4,59	4,59	95,41
19 - (3/4')	13,50	2,69	7,28	92,72
9,51 - (3/8')	32,20	6,43	13,71	86,29
4.76 - (n4)	58,00	11,57	25,28	74,72
2 - (n10)	69,10	13,79	39,07	60,93
< 2,00 - (n10)	305,30	60,93		
TOTAL	501,10	100,00		

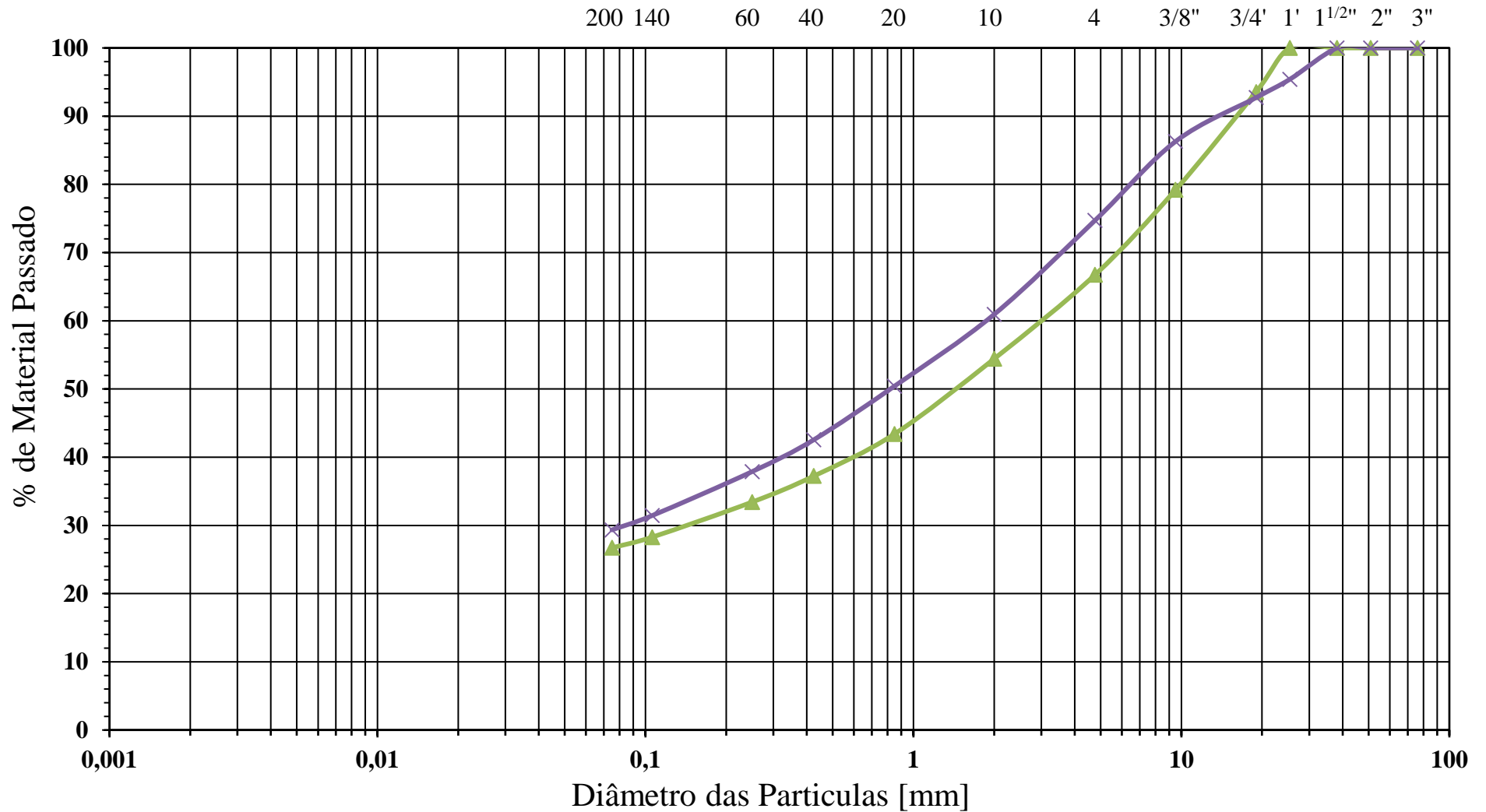
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	89,90	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		60,93
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	15,50	10,50	49,58	50,42
40	11,60	7,86	57,44	42,56
60	6,90	4,68	62,12	37,88
140	9,50	6,44	68,55	31,45
200	3,10	2,10	70,66	29,34
< 200	43,30			
TOTAL	89,90			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - SPT1



▲ P1.1
× P1.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:	-	
	Data final:	-	
Cliente:	-	Local da Colheita:	ETA França, Bragança

Massa total da amostra: (g)	mt=	972,30
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	446,00
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	526,30


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10 - (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	13,70	1,41	1,41	98,59
9,51 - (3/8')	168,70	17,35	18,76	81,24
4.76 - (n4)	136,10	14,00	32,76	67,24
2 - (n10)	127,50	13,11	45,87	54,13
< 2,00 - (n10)	526,30	54,13		
TOTAL	972,30	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	130,60	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		54,13
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	23,50	9,74	55,61	44,39
40	15,50	6,42	62,03	37,97
60	8,80	3,65	65,68	34,32
140	12,00	4,97	70,66	29,34
200	3,70	1,53	72,19	27,81
< 200	67,10			
TOTAL	130,60			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P2.2
	Data inicial:	-		
	Data final:	-		
Cliente:	-	Local da Colheita:	ETA França, Bragança	

Massa total da amostra: (g)	mt=	274,00
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	134,50
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	139,50

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x = (m_x / m_t) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10 - (1 1/2')	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (3/4')	9,00	3,28	3,28	96,72
9,51 - (3/8')	25,50	9,31	12,59	87,41
4.76 - (n4)	43,00	15,69	28,28	71,72
2 - (n10)	57,00	20,80	49,09	50,91
< 2,00 - (n10)	139,50	50,91		
TOTAL	274,00	100,00		

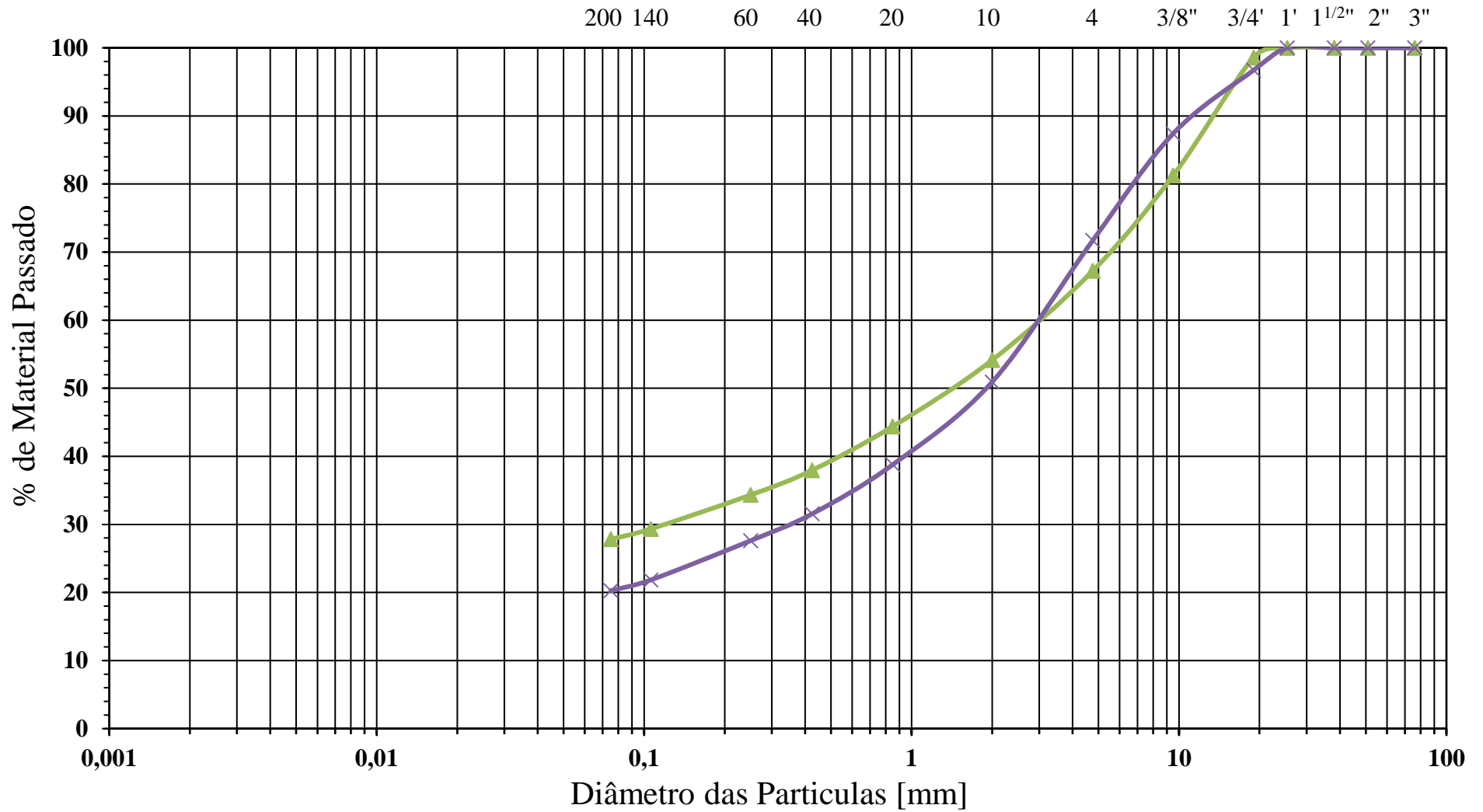
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	83,90	$N''10 = (m'10 / m_t) \times 100 =$		50,91
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x = (m_x / m_a) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x = 100 - N'x$)
20	20,00	12,14	61,22	38,78
40	11,90	7,22	68,45	31,55
60	6,50	3,94	72,39	27,61
140	9,50	5,76	78,15	21,85
200	2,60	1,58	79,73	20,27
< 200	33,40			
TOTAL	83,90			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior


ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - SPT2



▲ P2.1
× P2.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

Campo Experimental 3 - Seixagal

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	616,60
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	71,10
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	545,50


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	16,10	2,61	2,61	97,39
4.76 - (n4)	22,20	3,60	6,21	93,79
2 - (n10)	32,80	5,32	11,53	88,47
< 2,00 - (n10)	545,50	88,47		
TOTAL	616,60	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	93,30	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		88,47
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	5,60	5,31	16,84	83,16
40	5,50	5,22	22,06	77,94
60	3,70	3,51	25,56	74,44
140	5,90	5,59	31,16	68,84
200	2,10	1,99	33,15	66,85
< 200	70,50			
TOTAL	93,30			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	737,60
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	33,70
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	703,90

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ⁺ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	8,40	1,14	1,14	98,86
4.76 - (n4)	9,40	1,27	2,41	97,59
2 - (n10)	15,90	2,16	4,57	95,43
< 2,00 - (n10)	703,90	95,43		
TOTAL	737,60	100,00		

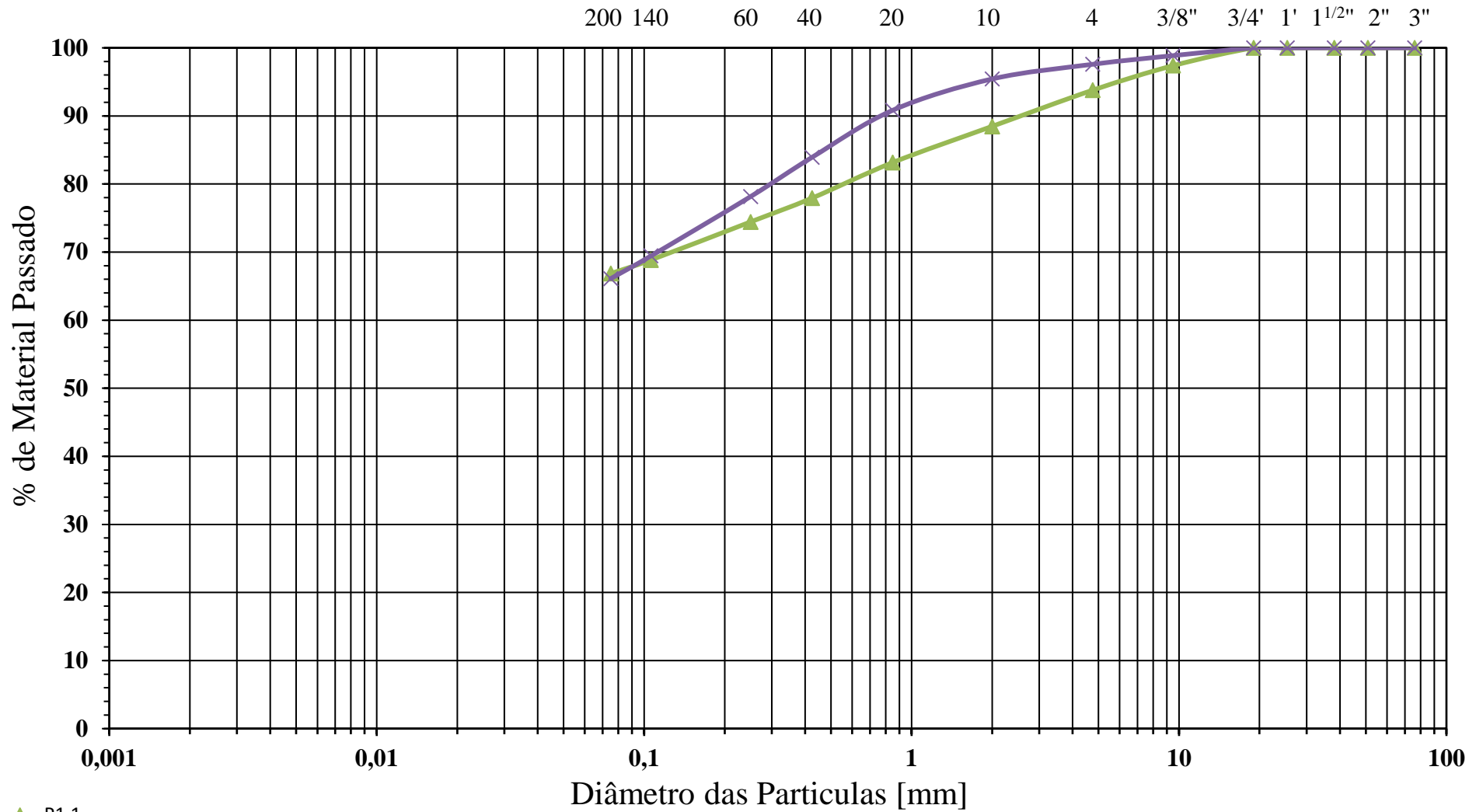
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	120,40	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		95,43
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	5,80	4,60	9,17	90,83
40	8,70	6,90	16,06	83,94
60	7,30	5,79	21,85	78,15
140	11,00	8,72	30,57	69,43
200	4,20	3,33	33,90	66,10
< 200	83,40			
TOTAL	120,40			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P1



▲ P1.1
✕ P1.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº: P2.1
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	475,40
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	80,70
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	394,70


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	21,00	4,42	4,42	95,58
9,51 - (³ / ₈)	7,40	1,56	5,97	94,03
4.76 - (n4)	17,40	3,66	9,63	90,37
2 - (n10)	34,90	7,34	16,98	83,02
< 2,00 - (n10)	394,70	83,02		
TOTAL	475,40	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	77,70	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		83,02
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	7,70	8,23	25,20	74,80
40	6,10	6,52	31,72	68,28
60	3,90	4,17	35,89	64,11
140	7,30	7,80	43,69	56,31
200	3,00	3,21	46,89	53,11
< 200	49,70			
TOTAL	77,70			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:	Data final:		Local da Colheita: Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	644,00
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	213,90
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	430,10

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	21,10	3,28	3,28	96,72
9,51 - (³ / ₈)	45,30	7,03	10,31	89,69
4.76 - (n4)	73,70	11,44	21,75	78,25
2 - (n10)	73,80	11,46	33,21	66,79
< 2,00 - (n10)	430,10	66,79		
TOTAL	644,00	100,00		

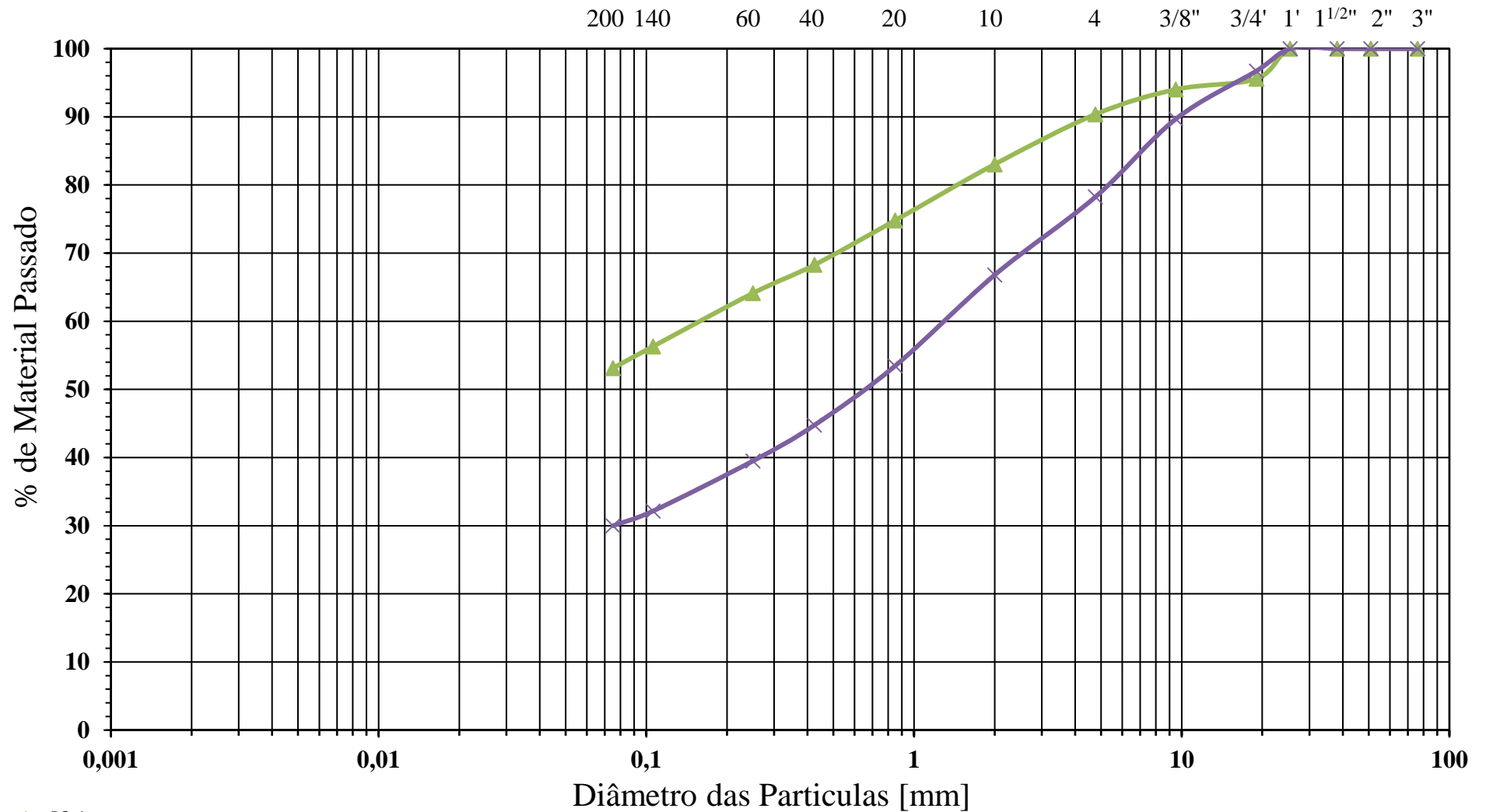
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	64,60	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		66,79
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	12,90	13,34	46,55	53,45
40	8,40	8,68	55,23	44,77
60	5,10	5,27	60,51	39,49
140	7,10	7,34	67,85	32,15
200	2,10	2,17	70,02	29,98
< 200	29,00			
TOTAL	64,60			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P2



▲ P2.1
× P2.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:	Data final:		Local da Colheita: Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	452,90
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	65,10
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	387,80


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	18,00	3,97	3,97	96,03
9,51 - (³ / ₈)	13,70	3,02	7,00	93,00
4.76 - (n4)	15,40	3,40	10,40	89,60
2 - (n10)	18,00	3,97	14,37	85,63
< 2,00 - (n10)	387,80	85,63		
TOTAL	452,90	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	77,90	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		85,63
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	4,10	4,51	18,88	81,12
40	4,30	4,73	23,61	76,39
60	3,60	3,96	27,56	72,44
140	6,40	7,03	34,60	65,40
200	1,80	1,98	36,58	63,42
< 200	57,70			
TOTAL	77,90			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	657,60
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	82,90
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	574,70


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $Nx=(mx/mt)x100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ⁺ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	11,70	1,78	1,78	98,22
4.76 - (n4)	31,40	4,77	6,55	93,45
2 - (n10)	39,80	6,05	12,61	87,39
< 2,00 - (n10)	574,70	87,39		
TOTAL	657,60	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	63,90	$N''10=(m'10/mt)x100=$		87,39
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $Nx=(mx/ma)xN''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	5,70	7,80	20,40	79,60
40	3,60	4,92	25,33	74,67
60	3,30	4,51	29,84	70,16
140	6,10	8,34	38,18	61,82
200	1,60	2,19	40,37	59,63
< 200	43,60			
TOTAL	63,90			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	689,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	383,30
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	305,80

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	14,10	2,05	2,05	97,95
9,51 - (³ / ₈)	32,00	4,64	6,69	93,31
4.76 - (n4)	105,90	15,37	22,06	77,94
2 - (n10)	231,30	33,57	55,62	44,38
< 2,00 - (n10)	305,80	44,38		
TOTAL	689,10	100,00		

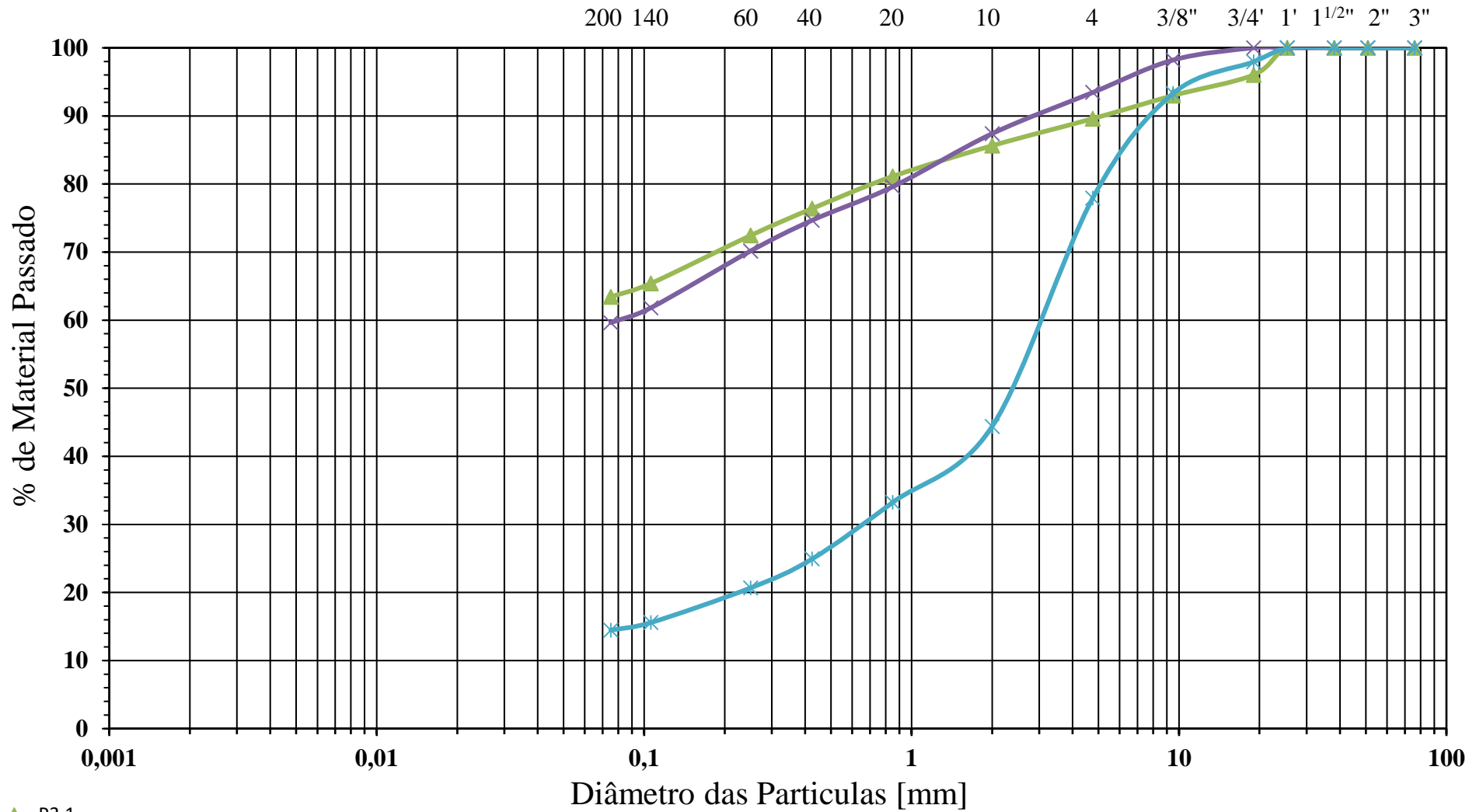
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	79,20	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		44,38
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	19,90	11,15	66,77	33,23
40	14,80	8,29	75,07	24,93
60	7,60	4,26	79,32	20,68
140	9,10	5,10	84,42	15,58
200	2,00	1,12	85,54	14,46
< 200	25,80			
TOTAL	79,20			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P3




▲ P3.1

✕ P3.2

✱ P3.3

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	508,60
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	33,10
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	475,50


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	9,40	1,85	1,85	98,15
4.76 - (n4)	6,40	1,26	3,11	96,89
2 - (n10)	17,30	3,40	6,51	93,49
< 2,00 - (n10)	475,50	93,49		
TOTAL	508,60	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	61,30	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		93,49
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	3,20	4,88	11,39	88,61
40	3,20	4,88	16,27	83,73
60	2,50	3,81	20,08	79,92
140	5,00	7,63	27,71	72,29
200	1,70	2,59	30,30	69,70
< 200	45,70			
TOTAL	61,30			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:	Data final:		Local da Colheita: Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	588,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	222,70
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	365,40

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $Nx=(mx/mt)x100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ⁺ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	38,90	6,61	6,61	93,39
9,51 - (³ / ₈)	79,90	13,59	20,20	79,80
4.76 - (n4)	51,90	8,83	29,03	70,97
2 - (n10)	52,00	8,84	37,87	62,13
< 2,00 - (n10)	365,40	62,13		
TOTAL	588,10	100,00		

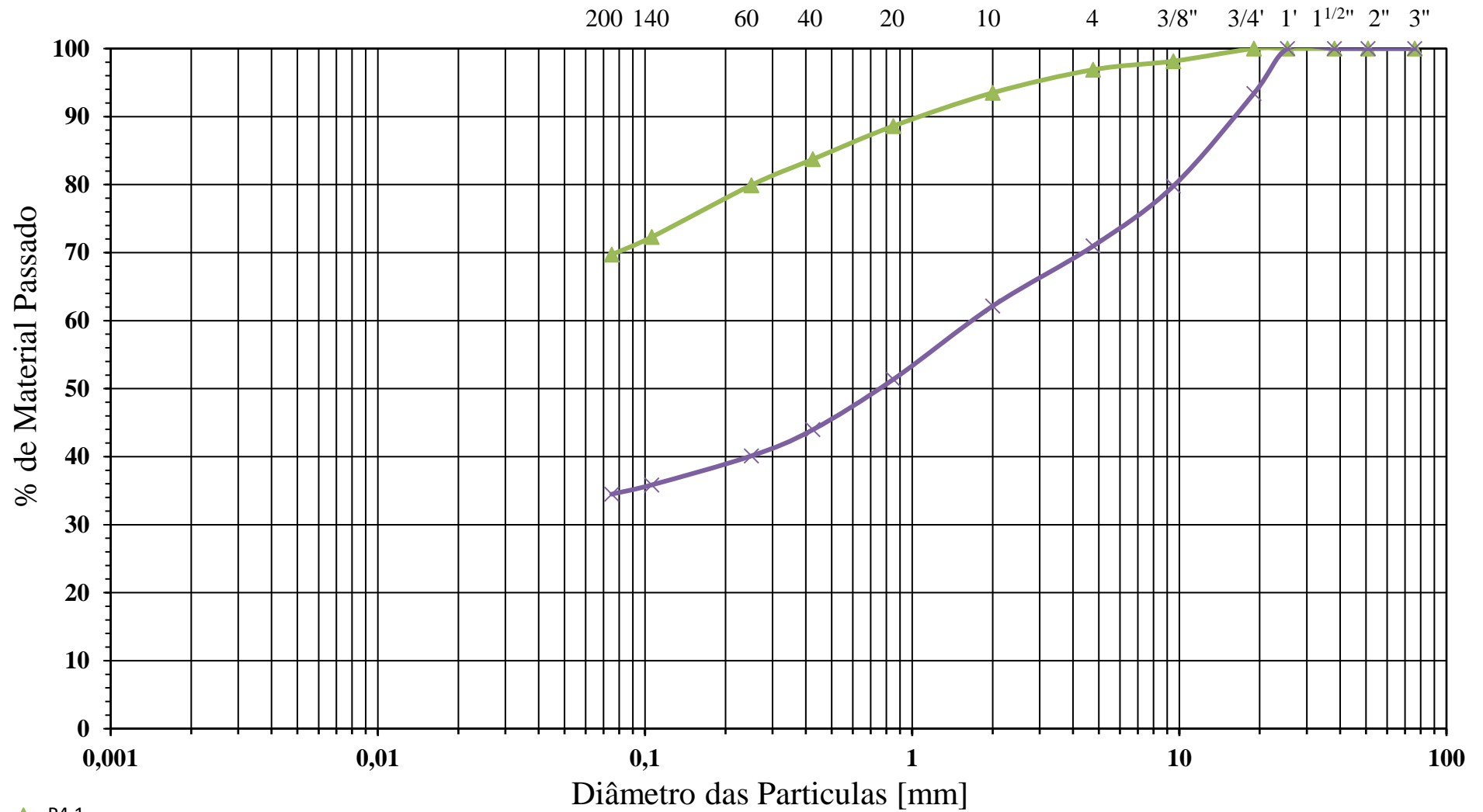
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	77,30	$N''10=(m'10/mt)x100=$		62,13
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $Nx=(mx/ma)xN''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	13,40	10,77	48,64	51,36
40	9,20	7,39	56,03	43,97
60	4,80	3,86	59,89	40,11
140	5,30	4,26	64,15	35,85
200	1,70	1,37	65,52	34,48
< 200	42,90			
TOTAL	77,30			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P4



▲ P4.1
× P4.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	446,50
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	140,40
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	306,10

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	34,20	7,66	7,66	92,34
4.76 - (n4)	51,60	11,56	19,22	80,78
2 - (n10)	54,60	12,23	31,44	68,56
< 2,00 - (n10)	306,10	68,56		
TOTAL	446,50	100,00		

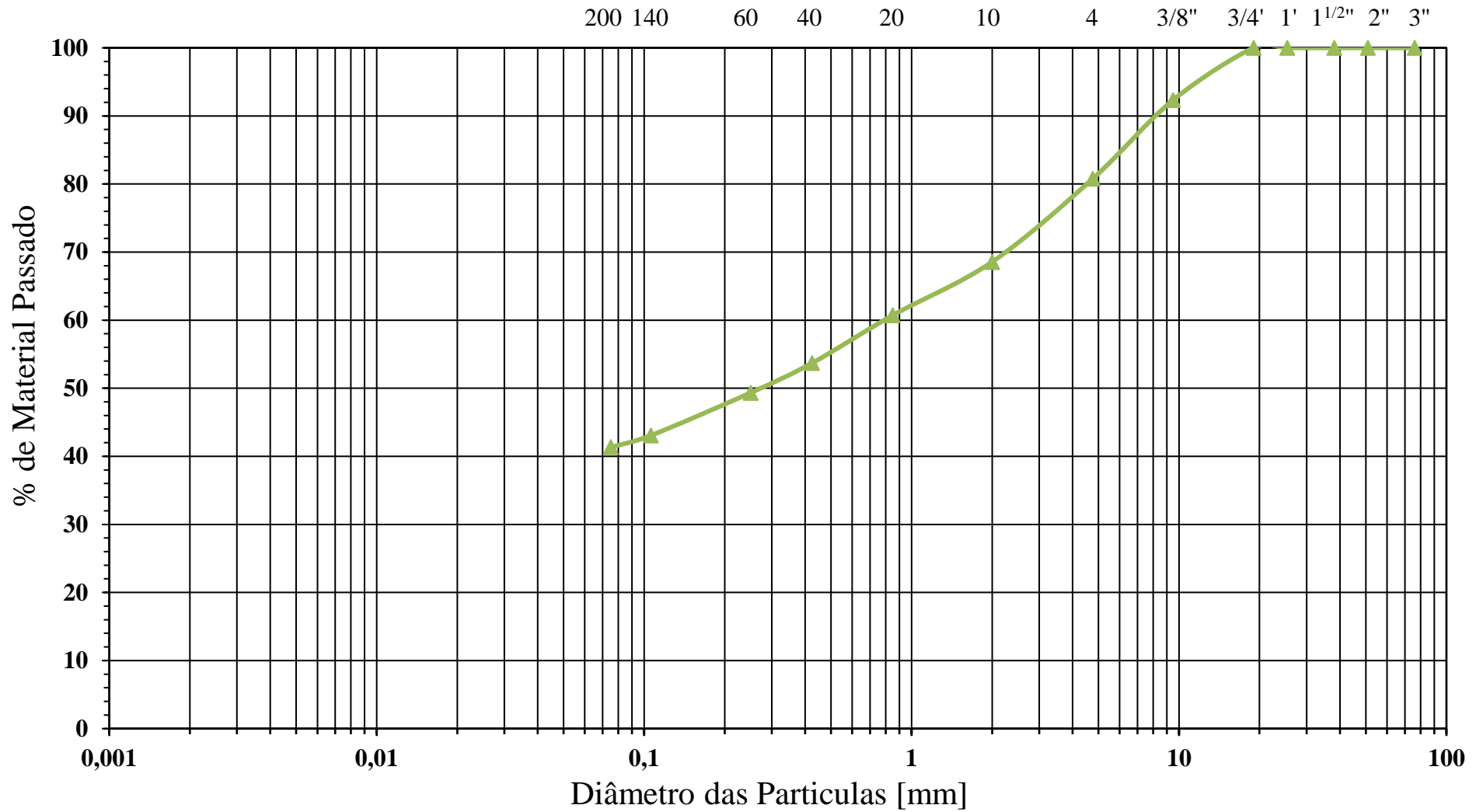
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	83,10	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		68,56
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	9,50	7,84	39,28	60,72
40	8,50	7,01	46,29	53,71
60	5,30	4,37	50,67	49,33
140	7,60	6,27	56,94	43,06
200	2,10	1,73	58,67	41,33
< 200	50,10			
TOTAL	83,10			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P5



▲ P5.1

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
	Data final:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	352,90
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	124,80
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	228,10


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	23,40	6,63	6,63	93,37
9,51 - (³ / ₈)	51,80	14,68	21,31	78,69
4.76 - (n4)	31,50	8,93	30,24	69,76
2 - (n10)	18,10	5,13	35,36	64,64
< 2,00 - (n10)	228,10	64,64		
TOTAL	352,90	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	53,80	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		64,64
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	5,70	6,85	42,21	57,79
40	4,20	5,05	47,26	52,74
60	2,50	3,00	50,26	49,74
140	3,50	4,20	54,47	45,53
200	0,80	0,96	55,43	44,57
< 200	37,10			
TOTAL	53,80			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:	Data final:		Local da Colheita: Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	696,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	64,50
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	631,60


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	30,40	4,37	4,37	95,63
4.76 - (n4)	13,90	2,00	6,36	93,64
2 - (n10)	20,20	2,90	9,27	90,73
< 2,00 - (n10)	631,60	90,73		
TOTAL	696,10	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	94,50	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		90,73
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	4,00	3,84	13,11	86,89
40	3,50	3,36	16,47	83,53
60	2,50	2,40	18,87	81,13
140	4,40	4,22	23,09	76,91
200	1,40	1,34	24,44	75,56
< 200	78,70			
TOTAL	94,50			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida			
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:	P6.3
	Data inicial:			
Cliente:	Data final:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	678,20
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	216,90
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	461,30

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	80,30	11,84	11,84	88,16
4.76 - (n4)	59,70	8,80	20,64	79,36
2 - (n10)	76,90	11,34	31,98	68,02
< 2,00 - (n10)	461,30	68,02		
TOTAL	678,20	100,00		

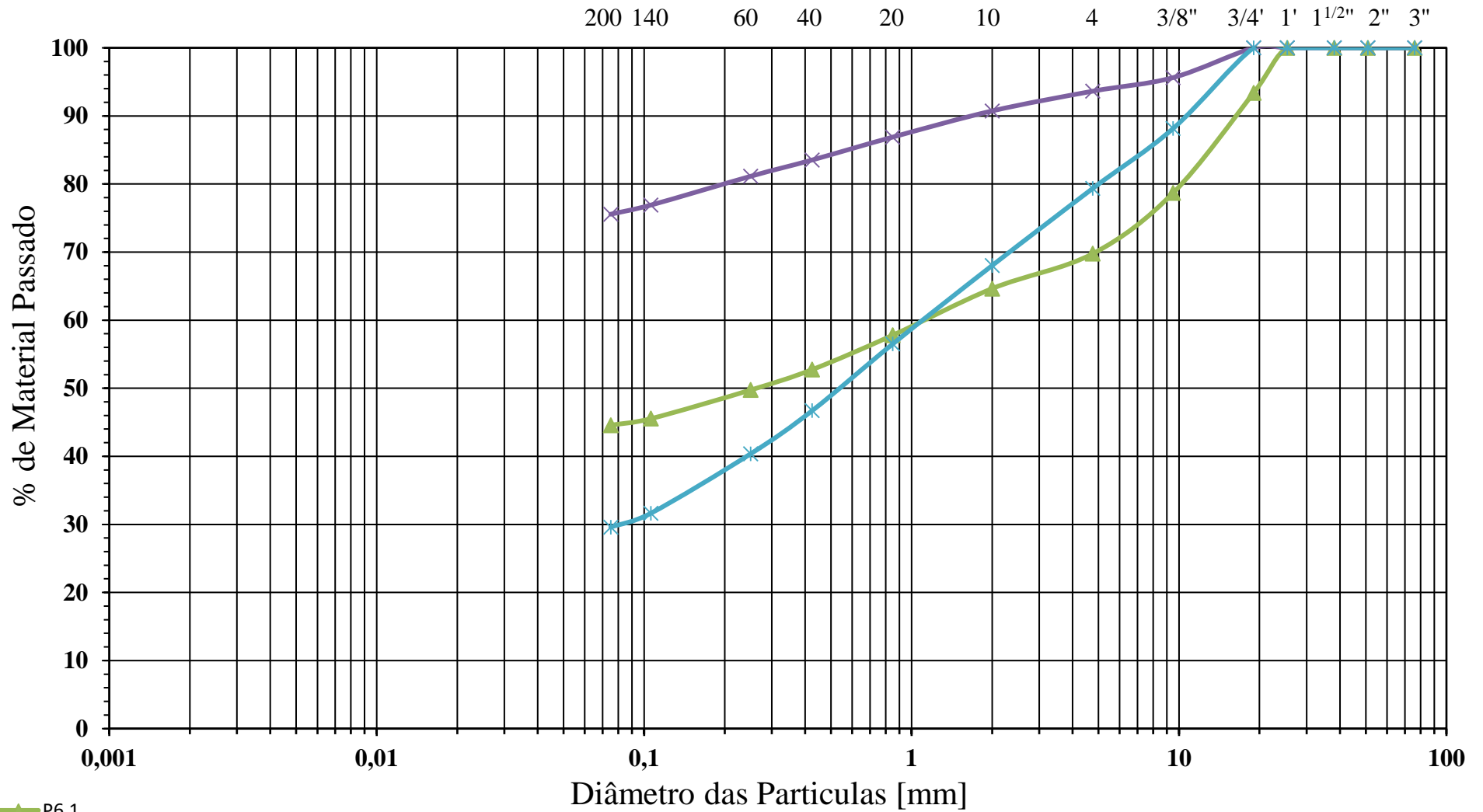
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	63,20	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		68,02
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	10,70	11,52	43,50	56,50
40	9,10	9,79	53,29	46,71
60	5,90	6,35	59,64	40,36
140	8,10	8,72	68,36	31,64
200	1,90	2,04	70,40	29,60
< 200	27,50			
TOTAL	63,20			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico


A Técnica Superior

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P6



- ▲ P6.1
- × P6.2
- × P6.3

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:		Local da Colheita:	Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	440,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	90,30
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	349,80


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	6,90	1,57	1,57	98,43
9,51 - (³ / ₈)	20,10	4,57	6,13	93,87
4.76 - (n4)	32,00	7,27	13,41	86,59
2 - (n10)	31,30	7,11	20,52	79,48
< 2,00 - (n10)	349,80	79,48		
TOTAL	440,10	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	87,30	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		79,48
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	6,90	6,28	26,80	73,20
40	6,20	5,64	32,44	67,56
60	4,20	3,82	36,27	63,73
140	6,00	5,46	41,73	58,27
200	2,00	1,82	43,55	56,45
< 200	62,00			
TOTAL	87,30			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	Análise Granulométrica por Peneiração Húmida		
	Norma de referência:	LNEC E 239 - 1970	Amostra nº:
	Data inicial:		
Cliente:	Data final:		Local da Colheita: Seixagal

Massa total da amostra: (g)	mt=	383,40
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	217,30
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	166,10

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3')	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2')	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1')	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	65,00	16,95	16,95	83,05
4.76 - (n4)	80,00	20,87	37,82	62,18
2 - (n10)	72,30	18,86	56,68	43,32
< 2,00 - (n10)	166,10	43,32		
TOTAL	383,40	100,00		

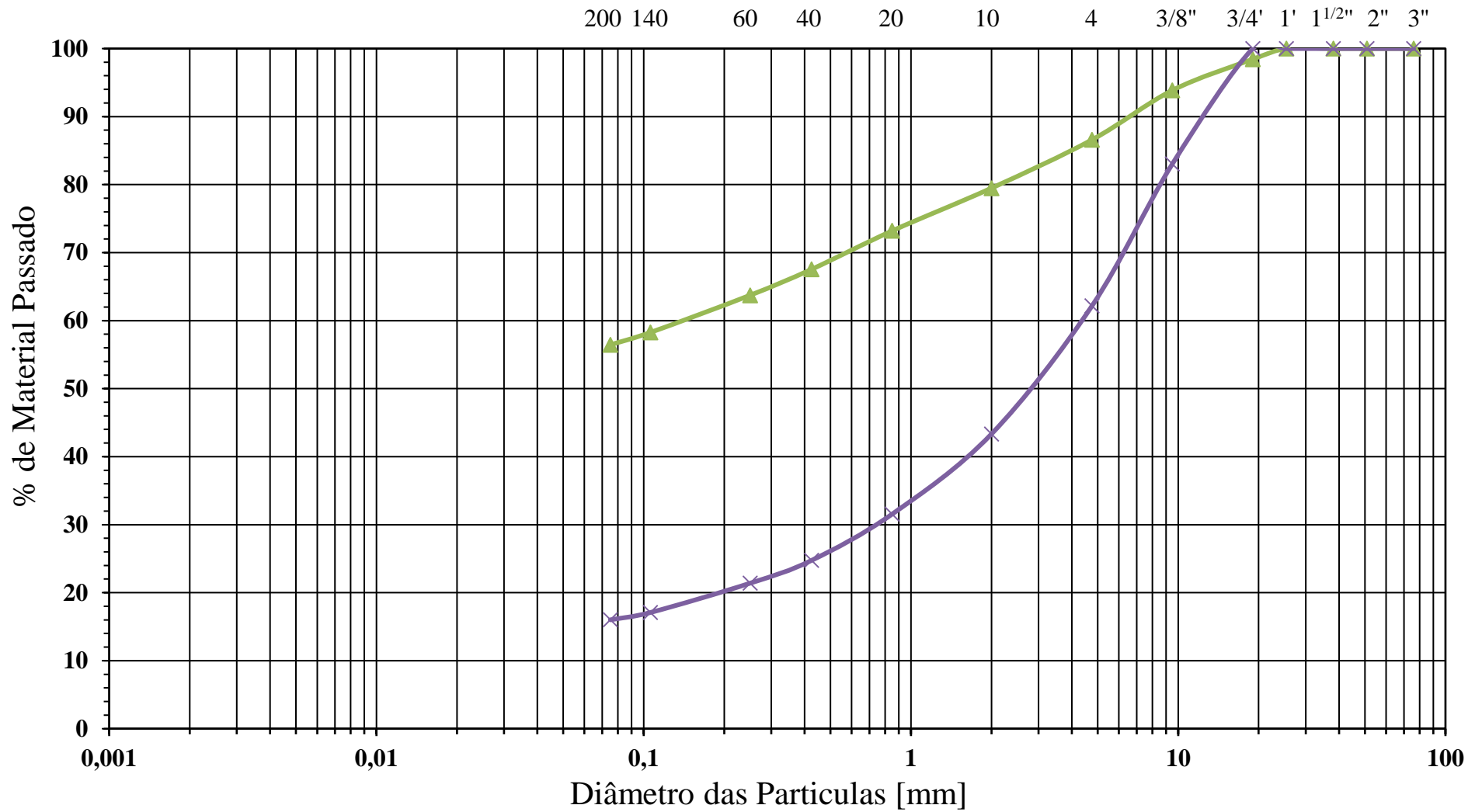
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	64,40	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		43,32
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	17,50	11,77	68,45	31,55
40	10,10	6,79	75,24	24,76
60	5,00	3,36	78,61	21,39
140	6,40	4,31	82,91	17,09
200	1,60	1,08	83,99	16,01
< 200	23,80			
TOTAL	64,40			

Bragança, 15 de junho de 2018

O Técnico

A Técnica Superior


ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P7



▲ P7.1
× P7.2

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

Campo Experimental 4 – Vila Flor

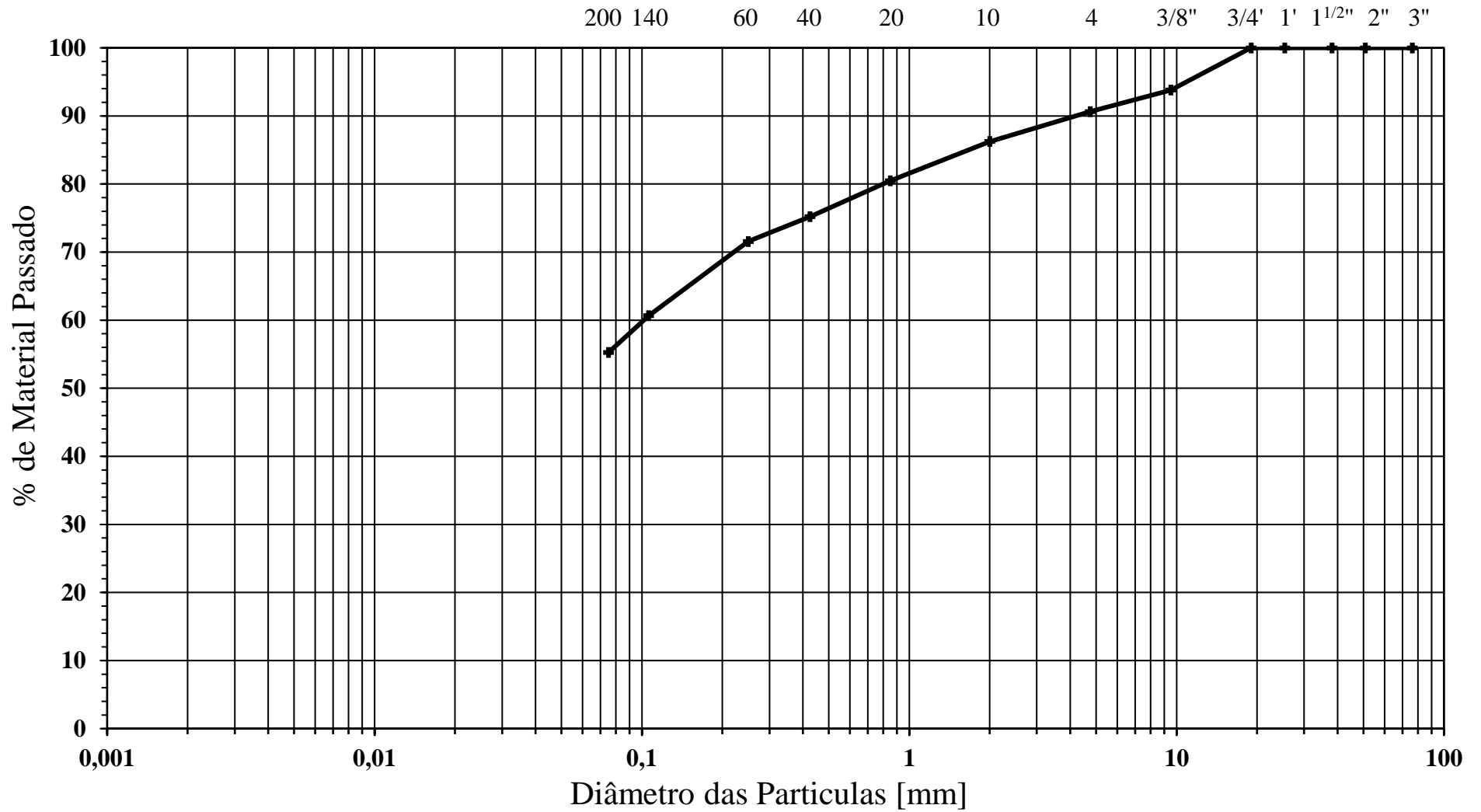
 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA	
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970	
	Amostra:	P1.1
	Data da Colheita:	-
Ciente:	Obra:	-
	Local:	Vila Flor

Massa total da amostra: (g)	mt=	670,10
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	92,30
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	577,80

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	41,50	6,19	6,19	93,81
4.76 - (n4)	21,30	3,18	9,37	90,63
2 - (n10)	29,50	4,40	13,77	86,23
< 2,00 - (n10)	92,30	13,77		
TOTAL	184,60	27,55		


Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	73,50	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		86,23
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	4,90	5,75	19,52	80,48
40	4,50	5,28	24,80	75,20
60	3,10	3,64	28,44	71,56
140	9,30	10,91	39,35	60,65
200	4,60	5,40	44,75	55,25
< 200	47,10			
TOTAL	73,50			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P1



— P1.1


Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA	
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970	
	Amostra:	P2.1
	Data da Colheita:	-
Ciente:	Obra:	-
	Local:	Vila Flor

Massa total da amostra: (g)	mt=	394,70
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	109,90
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	284,80

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 - (³ / ₈)	32,50	8,23	8,23	91,77
4.76 - (n4)	33,60	8,51	16,75	83,25
2 - (n10)	43,80	11,10	27,84	72,16
< 2,00 - (n10)	109,90	27,84		
TOTAL	219,80	55,69		


Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	72,10	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		72,16
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	9,80	9,81	37,65	62,35
40	7,90	7,91	45,56	54,44
60	4,50	4,50	50,06	49,94
140	6,70	6,71	56,77	43,23
200	2,80	2,80	59,57	40,43
< 200	40,40			
TOTAL	72,10			

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA	
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970	
	Amostra:	P2.2
	Data da Colheita:	-
Ciente:	Obra:	-
	Local:	Vila Flor

Massa total da amostra: (g)	mt=	575,80
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	200,10
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	375,70

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	13,50	2,34	2,34	97,66
9,51 - (³ / ₈)	80,00	13,89	16,24	83,76
4.76 - (n4)	46,10	8,01	24,24	75,76
2 - (n10)	60,50	10,51	34,75	65,25
< 2,00 - (n10)	200,10	34,75		
TOTAL	400,20	69,50		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	72,20	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		65,25
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	8,50	7,68	42,43	57,57
40	6,70	6,05	48,49	51,51
60	4,00	3,61	52,10	47,90
140	7,30	6,60	58,70	41,30
200	2,50	2,26	60,96	39,04
< 200	43,20			
TOTAL	72,20			

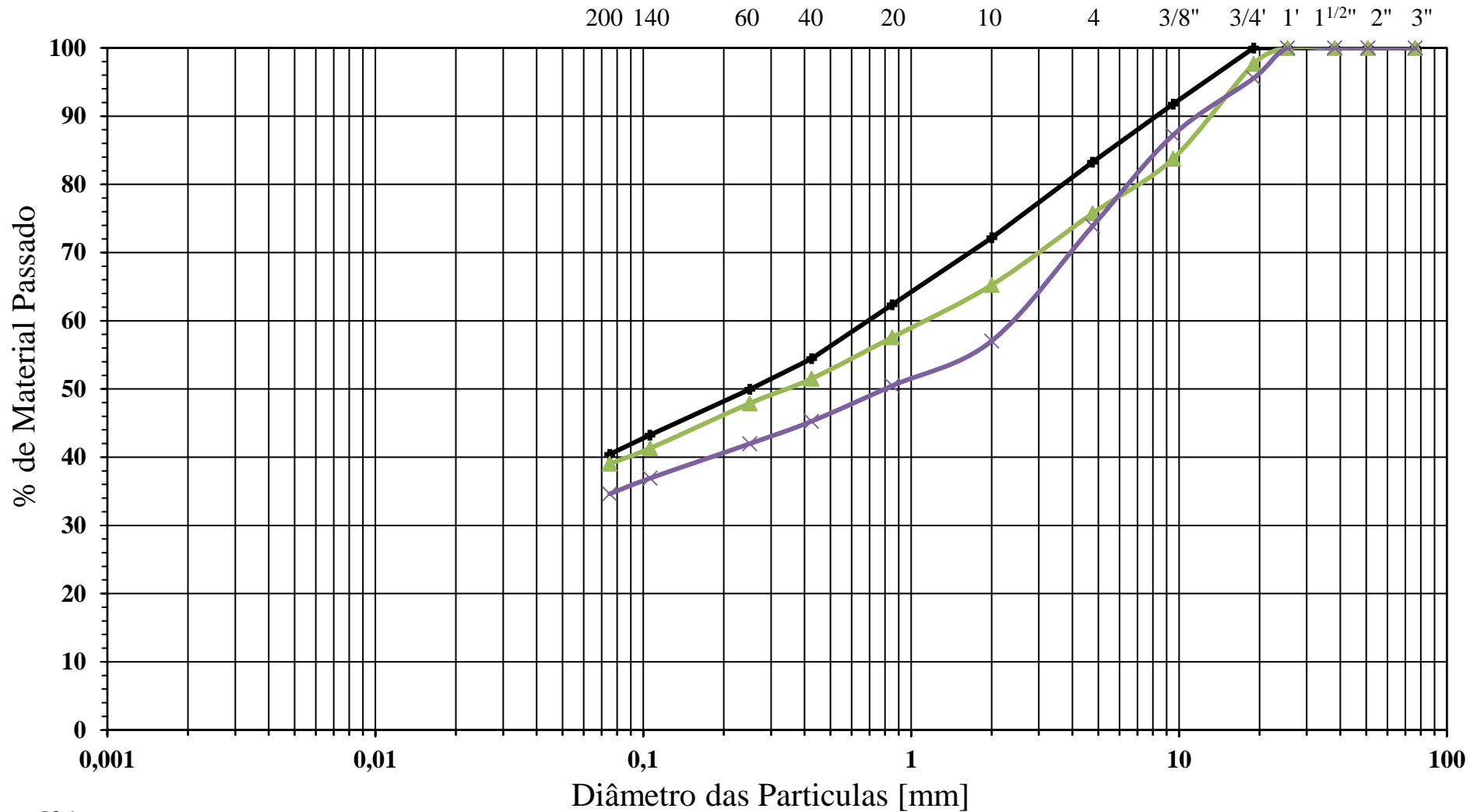
 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA	
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970	
	Amostra:	P2.3
	Data da Colheita:	-
Ciente:	Obra:	-
	Local:	Vila Flor

Massa total da amostra: (g)	mt=	496,30
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	213,20
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	283,10

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
76.1 - (3´)	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - (2´)	0,00	0,00	0,00	100,00
38,10- (1 ¹ / ₂)	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 - (1´)	0,00	0,00	0,00	100,00
19 - (³ / ₄)	22,00	4,43	4,43	95,57
9,51 - (³ / ₈)	41,40	8,34	12,77	87,23
4.76 - (n4)	66,20	13,34	26,11	73,89
2 - (n10)	83,60	16,84	42,96	57,04
< 2,00 - (n10)	213,20	42,96		
TOTAL	426,40	85,92		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	79,90	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		57,04
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ($N''x=100-N'x$)
20	9,20	6,57	49,53	50,47
40	7,30	5,21	54,74	45,26
60	4,60	3,28	58,02	41,98
140	7,10	5,07	63,09	36,91
200	3,20	2,28	65,37	34,63
< 200	48,50			
TOTAL	79,90			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - P2



—■— P2.1

—▲— P2.2

—×— P2.3

Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

Anexos 2 – Ensaaios SPT

Campo Experimental 1 - Matadouro



Equipamento: Tecoinsa TP-05.10D
 Perfuração: à percussão DPSH
 Inclinação: vertical
 Diâmetro: 51mm

Sondagem nº: SPT1

Obra:
 Estação de pré-tratamento de águas residuais, Matadouro de Bragança
 5300-... Bragança

Cota da boca: 716,10 m
 Nível de água: n.d.
 Fim do ensaio: 3, 75 m

Data de Início:
 Data de Fim:
 Sondador:

Profundidade [m]	Simbologia	Estratigrafia	Descrição Litológica	Ensaio SPT		0 10 20 30 40 50 60						Nível Freático	Amostrador	
				1ª fase (15 cm)	2ª fase (30 cm)									
0						0								
1			Siltes arenosos com seixo. Cor castanho amarelado.	10	22	1	[Barra SPT]						P1.1	
2				15	34	2	[Barra SPT]						P1.2	
3			Siltes arenosos de cor castanha amarelado.	25	58	3	[Barra SPT]						P1.3	
4			FIM DA SONDAGEM DPSH - "nega"			4								
5						5								
6						6								
7						7								
8						8								
9						9								
10						10								
11						11								
12						12								
13						13								
14						14								
15						15								
16						16								
17						17								
18						18								

Campo Experimental 2 - ETA

Campo Experimental 3 - Seixagal



Equipamento: Tecoinsa TP-05.10D
 Perfuração: à percussão DPSH
 Inclinação: vertical
 Diâmetro: 51mm

Sondagem nº: SPT6

Obra:
 Campo Seixagal, 5300 Bragança

Cota da boca: m
 Nível de água: n.d.
 Fim do ensaio: m

Data de Início:
 Data de Fim:
 Sondador:

Profundidade [m]	Simbologia	Estratigrafia	Descrição Litológica	Ensaio SPT		0 10 20 30 40 50 60							Nível Freático	Amostrador	
				1ª fase (15 cm)	2ª fase (30 cm)										
0						0									
1			Seixo = 26%	9	19	1	[Bar chart showing SPT blow counts]						P6.1		
2			Areia = 25%	6	14	2	[Bar chart showing SPT blow counts]						P6.2		
3			Silte + Argila = 49%	7	14	3	[Bar chart showing SPT blow counts]						P6.3		
4			DPSH - "nega"			4	[Bar chart showing SPT blow counts]								
5			FIM DA SONDAGEM			5	[Bar chart showing SPT blow counts]								
6						6	[Bar chart showing SPT blow counts]								
7						7	[Bar chart showing SPT blow counts]								
8						8	[Bar chart showing SPT blow counts]								
9						9	[Bar chart showing SPT blow counts]								
10						10	[Bar chart showing SPT blow counts]								
11						11	[Bar chart showing SPT blow counts]								
12						12	[Bar chart showing SPT blow counts]								
13						13	[Bar chart showing SPT blow counts]								
14						14	[Bar chart showing SPT blow counts]								
15						15	[Bar chart showing SPT blow counts]								
16						16	[Bar chart showing SPT blow counts]								
17						17	[Bar chart showing SPT blow counts]								
18						18	[Bar chart showing SPT blow counts]								

Campo Experimental 4 – Vila Flor

Anexos 3 – Ensaaios DPH

Campo Experimental 1 - Matadouro



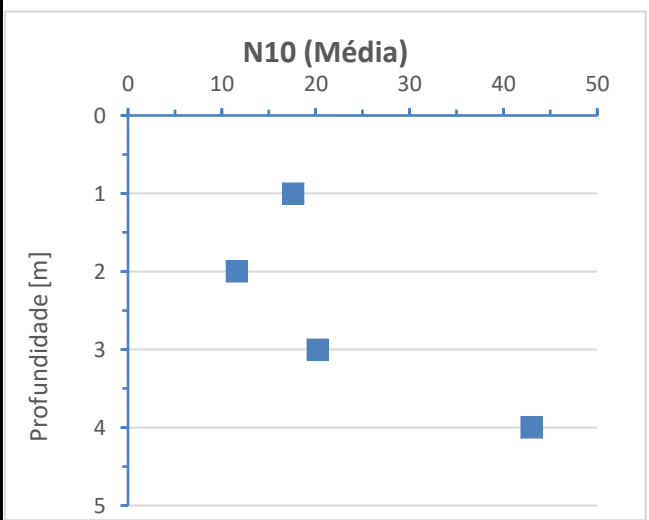
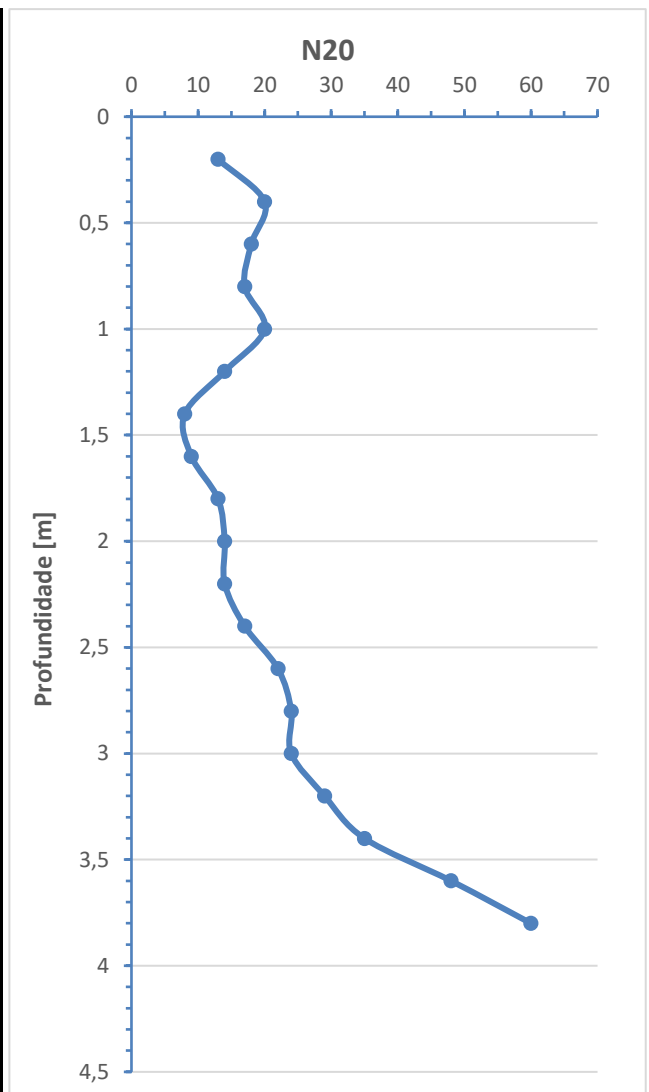
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaio de Penetração com DPSH

Posição:		Sondagem nº:	DPSH1
Data:			
Cone:		Nível de água:	

Cliente:		Local:	Matadouro 5300 Bragança
----------	--	--------	----------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	13	4,2		8,2	
0,4	20	4,4		8,4	
0,6	18	4,6		8,6	
0,8	17	4,8		8,8	
1	20	5		9	
N₂₀ (Méd)	17,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	14	5,2		9,2	
1,4	8	5,4		9,4	
1,6	9	5,6		9,6	
1,8	13	5,8		9,8	
2	14	6		10	
N₂₀ (Méd)	11,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	14	6,2		10,2	
2,4	17	6,4		10,4	
2,6	22	6,6		10,6	
2,8	24	6,8		10,8	
3	24	7		11	
N₂₀ (Méd)	20,2	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	rd (Méd)	#DIV/0!
3,2	29	7,2		11,2	
3,4	35	7,4		11,4	
3,6	48	7,6		11,6	
3,8	60	7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	43	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





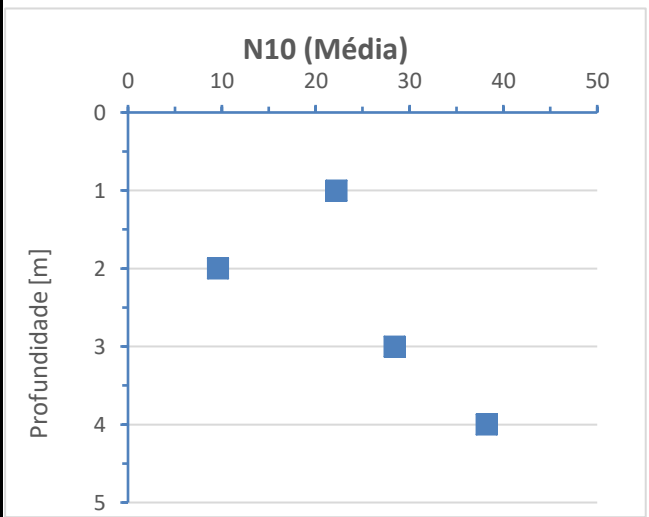
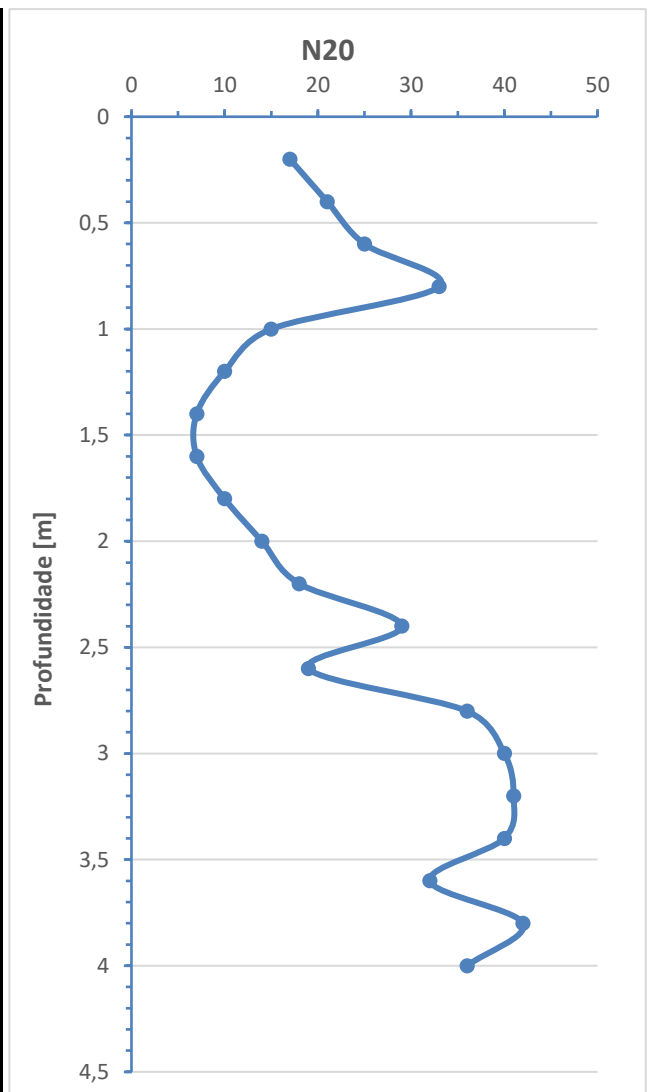
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaio de Penetração com DPSH

Posição:		Sondagem nº:	DPSH2
Data:			
Cone:		Nível de água:	

Cliente:		Local:	Matadouro 5300 Bragança
----------	--	--------	----------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	17	4,2	32	8,2	
0,4	21	4,4	47	8,4	
0,6	25	4,6	50	8,6	
0,8	33	4,8		8,8	
1	15	5		9	
N₂₀ (Méd)	22,2	N₂₀ (Méd)	43	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	10	5,2		9,2	
1,4	7	5,4		9,4	
1,6	7	5,6		9,6	
1,8	10	5,8		9,8	
2	14	6		10	
N₂₀ (Méd)	9,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	18	6,2		10,2	
2,4	29	6,4		10,4	
2,6	19	6,6		10,6	
2,8	36	6,8		10,8	
3	40	7		11	
N₂₀ (Méd)	28,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2	41	7,2		11,2	
3,4	40	7,4		11,4	
3,6	32	7,6		11,6	
3,8	42	7,8		11,8	
4	36	8		12	
N₂₀ (Méd)	38,2	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





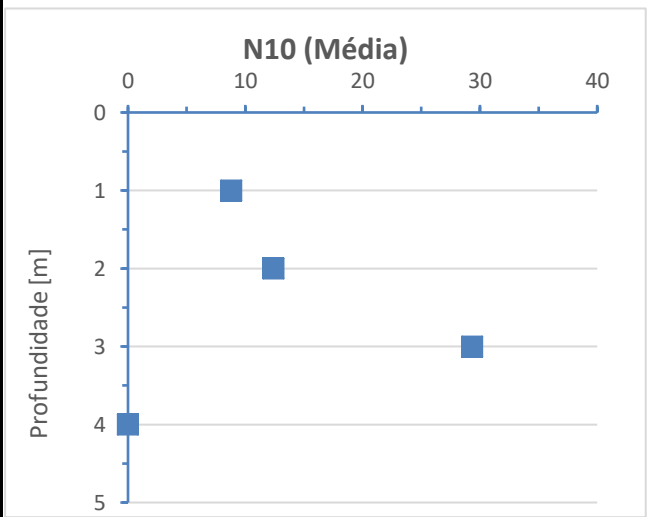
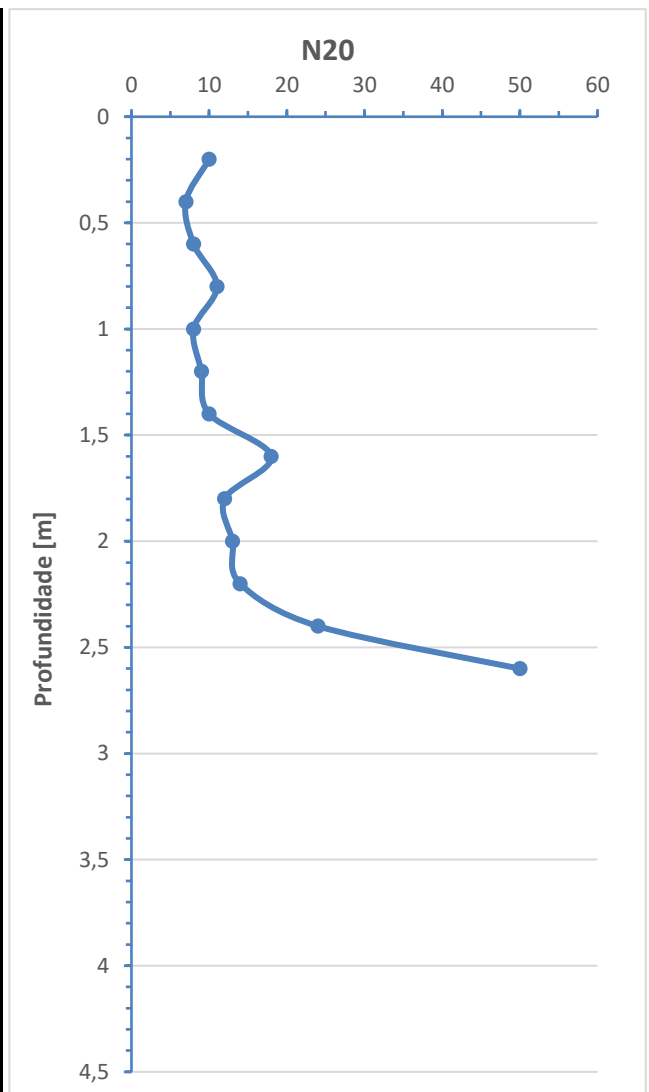
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaio de Penetração com DPSH

Posição:		Sondagem nº:	DPSH3
Data:			
Cone:		Nível de água:	

Cliente:		Local:	Matadouro 5300 Bragança
----------	--	--------	----------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	10	4,2		8,2	
0,4	7	4,4		8,4	
0,6	8	4,6		8,6	
0,8	11	4,8		8,8	
1	8	5		9	
N₂₀ (Méd)	8,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	9	5,2		9,2	
1,4	10	5,4		9,4	
1,6	18	5,6		9,6	
1,8	12	5,8		9,8	
2	13	6		10	
N₂₀ (Méd)	12,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	14	6,2		10,2	
2,4	24	6,4		10,4	
2,6	50	6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	29,3333	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!



Campo Experimental 2 - ETA

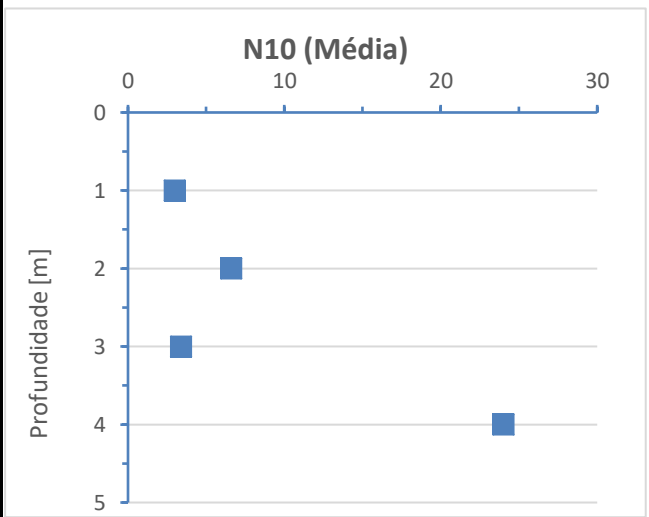
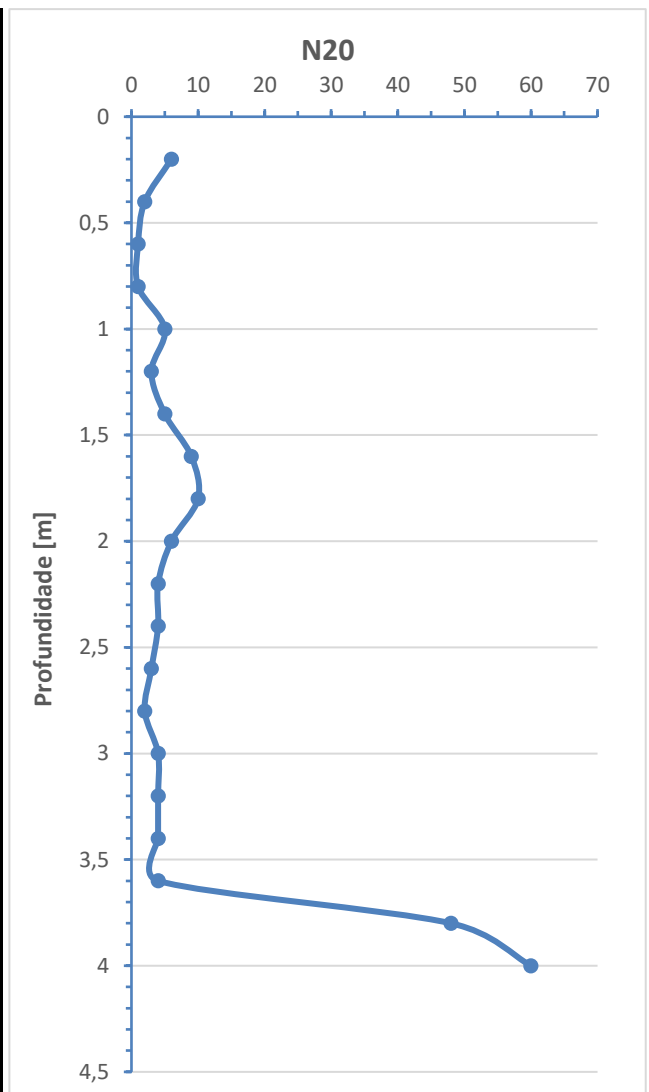


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:		Sondagem nº:	DPSH1
Data:			
Cone:		Nível de água:	Superfície
Cliente:	-	Local:	Reservatório do CO2 ETA de Bragança 5300 Bragança

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	6	4,2		4,2	
0,4	2	4,4		4,4	
0,6	1	4,6		4,6	
0,8	1	4,8		4,8	
1	5	5		5	
N₂₀ (Méd)	3	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	3	5,2		5,2	
1,4	5	5,4		5,4	
1,6	9	5,6		5,6	
1,8	10	5,8		5,8	
2	6	6		6	
N₂₀ (Méd)	6,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	4	6,2		6,2	
2,4	4	6,4		6,4	
2,6	3	6,6		6,6	
2,8	2	6,8		6,8	
3	4	7		7	
N₂₀ (Méd)	3,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2	4	7,2		7,2	
3,4	4	7,4		7,4	
3,6	4	7,6		7,6	
3,8	48	7,8		7,8	
4	60	8		8	
N₂₀ (Méd)	24	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!



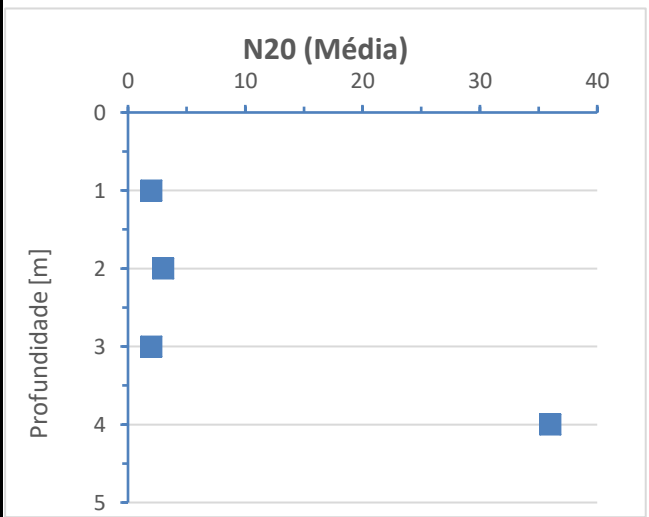
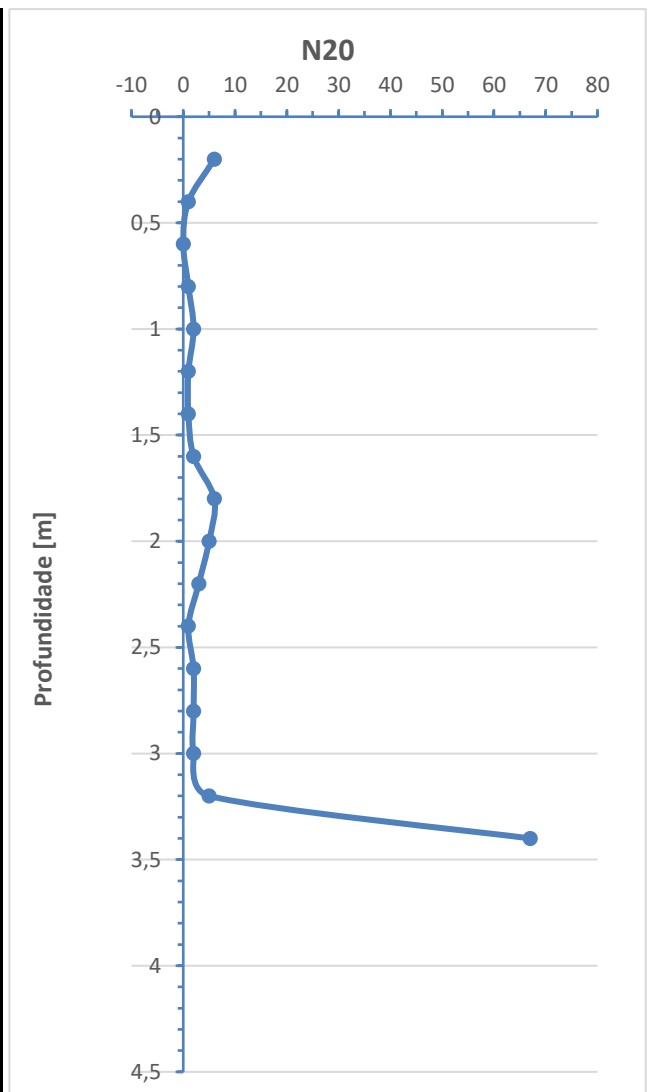


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:		Sondagem nº:	DPSH2
Data:			
Cone:		Nível de água:	Superfície
Cliente:	-	Local:	Reservatório do CO2 ETA de Bragança 5300 Bragança

Z(m)	N ₁₀	Z(m)	N ₁₀	Z(m)	N ₁₀
0,2	6	4,2		4,2	
0,4	1	4,4		4,4	
0,6	0,01	4,6		4,6	
0,8	1	4,8		4,8	
1	2	5		5	
N ₂₀ (Méd)	2,002	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	1	5,2		5,2	
1,4	1	5,4		5,4	
1,6	2	5,6		5,6	
1,8	6	5,8		5,8	
2	5	6		6	
N ₂₀ (Méd)	3	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	3	6,2		6,2	
2,4	1	6,4		6,4	
2,6	2	6,6		6,6	
2,8	2	6,8		6,8	
3	2	7		7	
N ₂₀ (Méd)	2	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2	5	7,2		7,2	
3,4	67	7,4		7,4	
3,6		7,6		7,6	
3,8		7,8		7,8	
4		8		8	
N ₂₀ (Méd)	36	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N ₂₀ (Méd)	#DIV/0!



Campo Experimental 3 - Seixagal



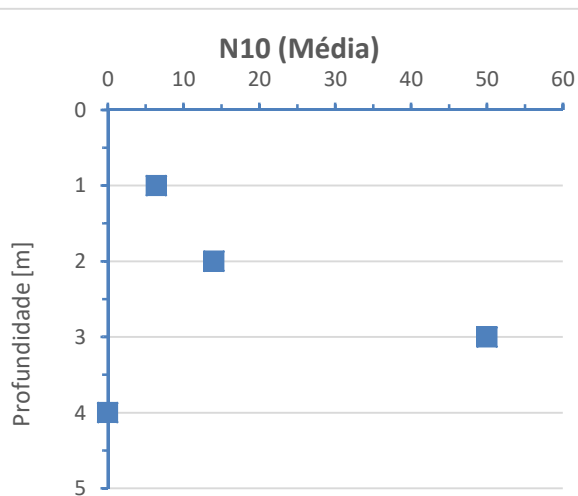
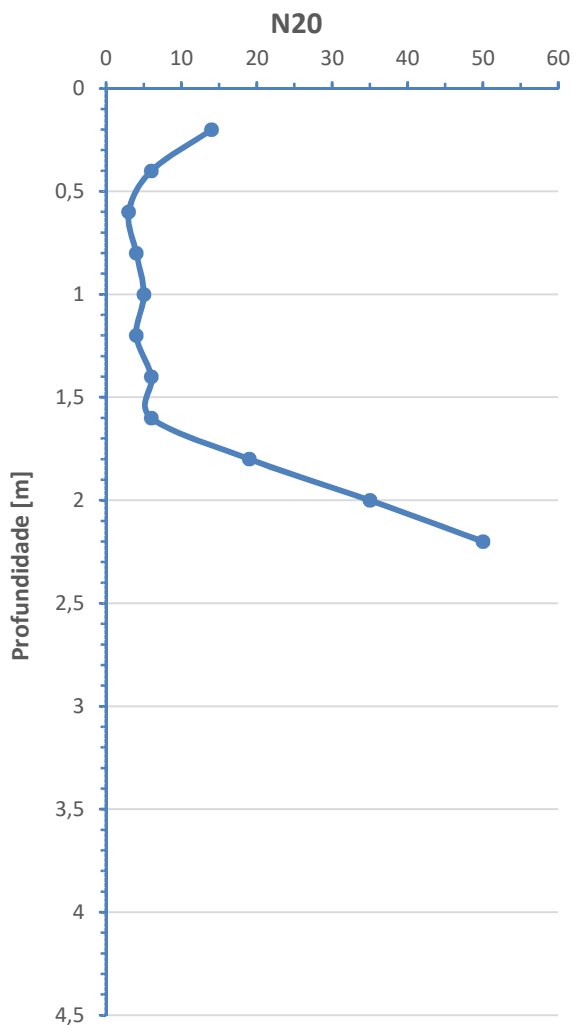
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH1
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	14	4,2		8,2	
0,4	6	4,4		8,4	
0,6	3	4,6		8,6	
0,8	4	4,8		8,8	
1	5	5		9	
N₂₀ (Méd)	6,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	4	5,2		9,2	
1,4	6	5,4		9,4	
1,6	6	5,6		9,6	
1,8	19	5,8		9,8	
2	35	6		10	
N₂₀ (Méd)	14	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	50	6,2		10,2	
2,4		6,4		10,4	
2,6		6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	50	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





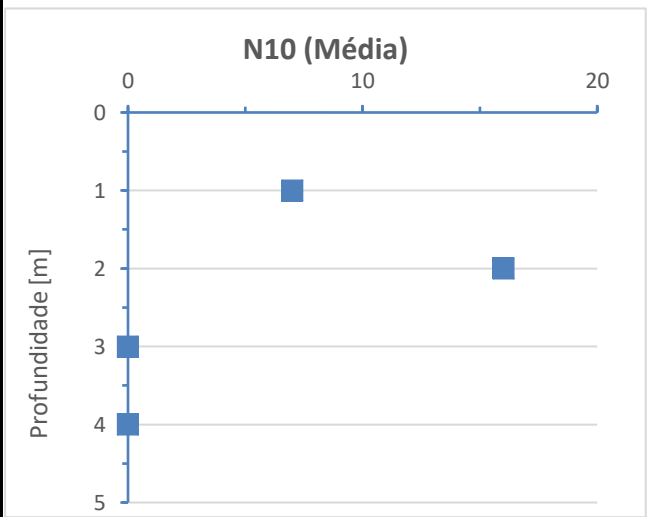
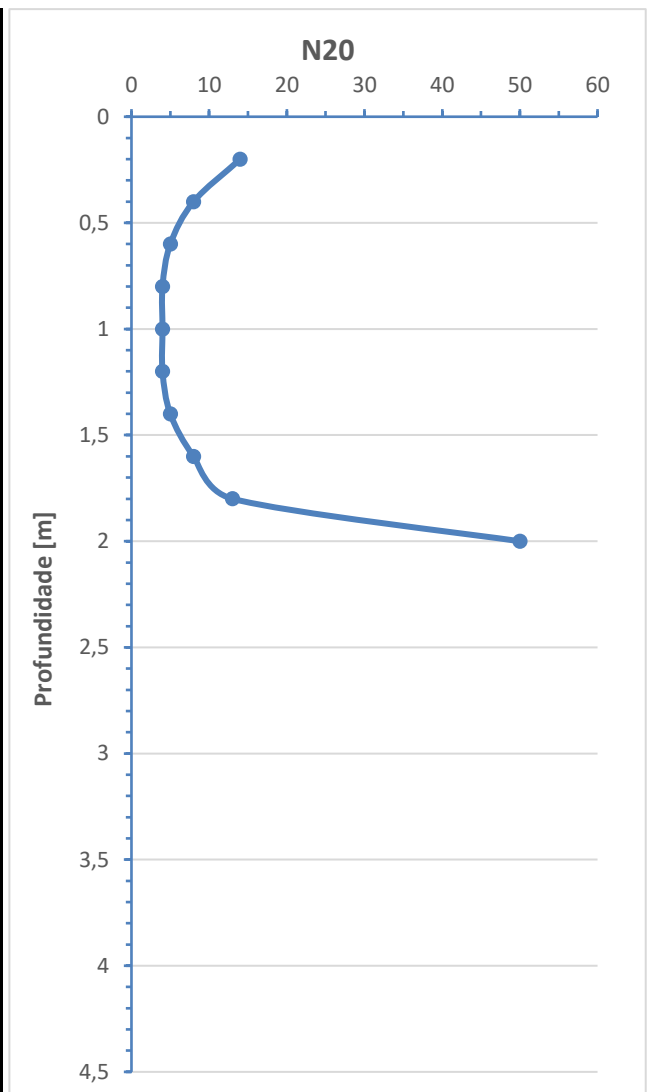
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH2
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	14	4,2		8,2	
0,4	8	4,4		8,4	
0,6	5	4,6		8,6	
0,8	4	4,8		8,8	
1	4	5		9	
N₂₀ (Méd)	7	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	4	5,2		9,2	
1,4	5	5,4		9,4	
1,6	8	5,6		9,6	
1,8	13	5,8		9,8	
2	50	6		10	
N₂₀ (Méd)	16	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2		6,2		10,2	
2,4		6,4		10,4	
2,6		6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





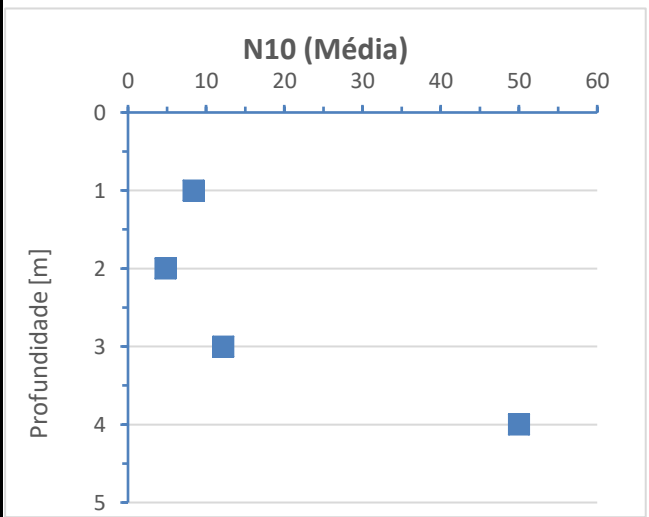
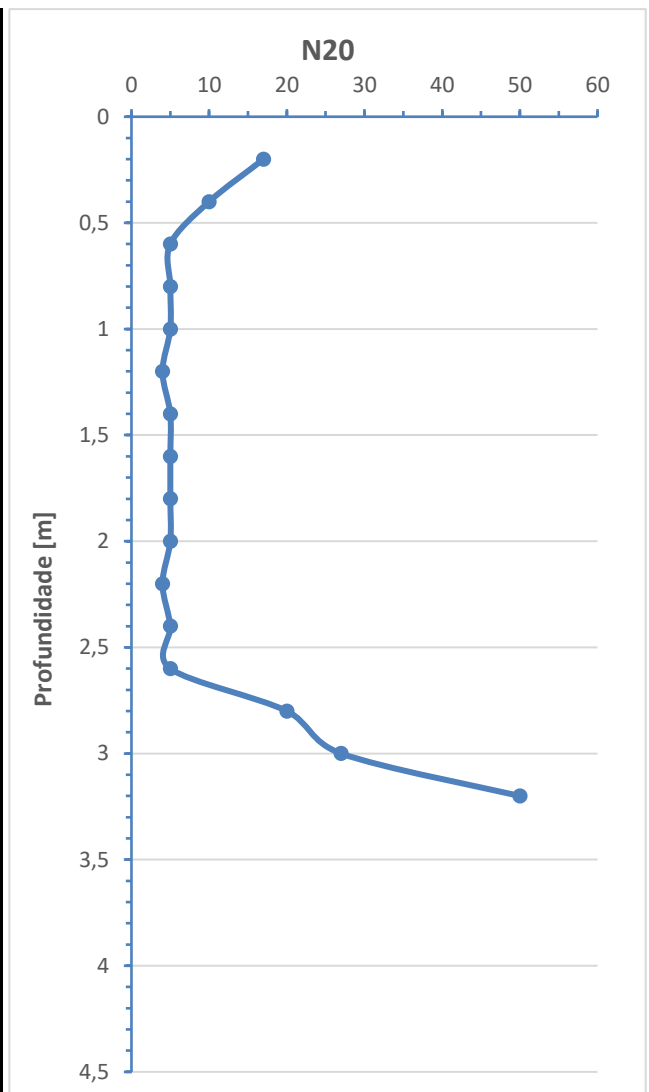
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaio de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH3
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	17	4,2		8,2	
0,4	10	4,4		8,4	
0,6	5	4,6		8,6	
0,8	5	4,8		8,8	
1	5	5		9	
N₂₀ (Méd)	8,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	4	5,2		9,2	
1,4	5	5,4		9,4	
1,6	5	5,6		9,6	
1,8	5	5,8		9,8	
2	5	6		10	
N₂₀ (Méd)	4,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	4	6,2		10,2	
2,4	5	6,4		10,4	
2,6	5	6,6		10,6	
2,8	20	6,8		10,8	
3	27	7		11	
N₂₀ (Méd)	12,2	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2	50	7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	50	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





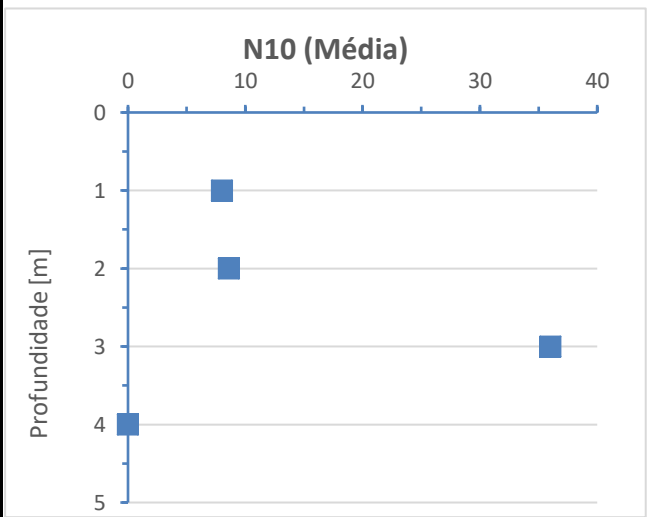
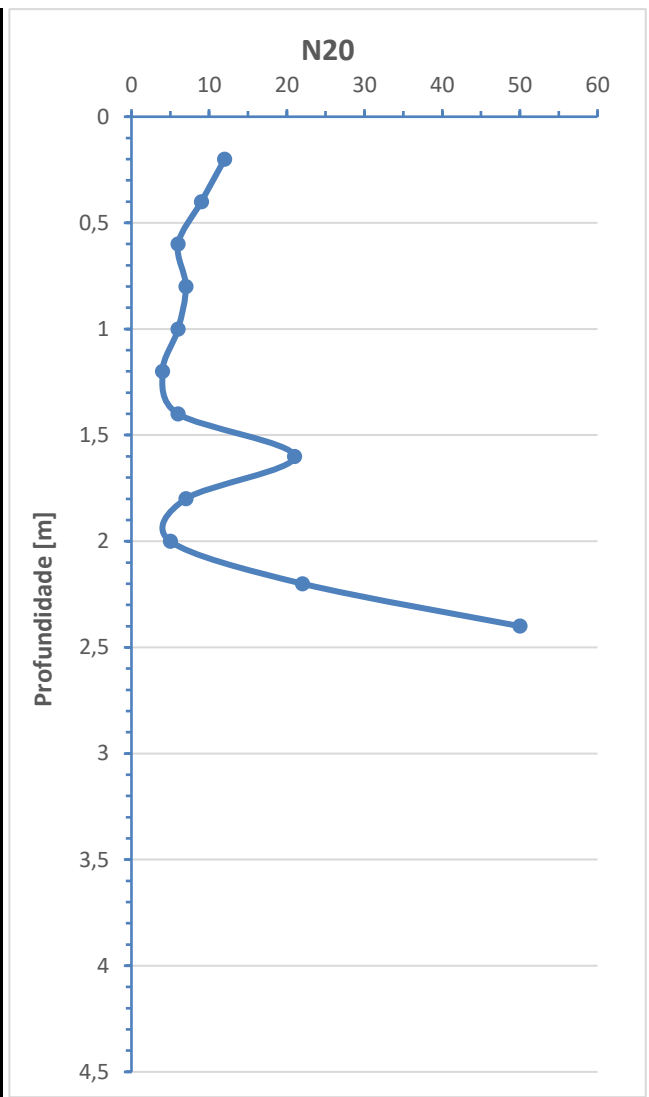
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH4
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	12	4,2		8,2	
0,4	9	4,4		8,4	
0,6	6	4,6		8,6	
0,8	7	4,8		8,8	
1	6	5		9	
N₂₀ (Méd)	8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	4	5,2		9,2	
1,4	6	5,4		9,4	
1,6	21	5,6		9,6	
1,8	7	5,8		9,8	
2	5	6		10	
N₂₀ (Méd)	8,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	22	6,2		10,2	
2,4	50	6,4		10,4	
2,6		6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	36	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





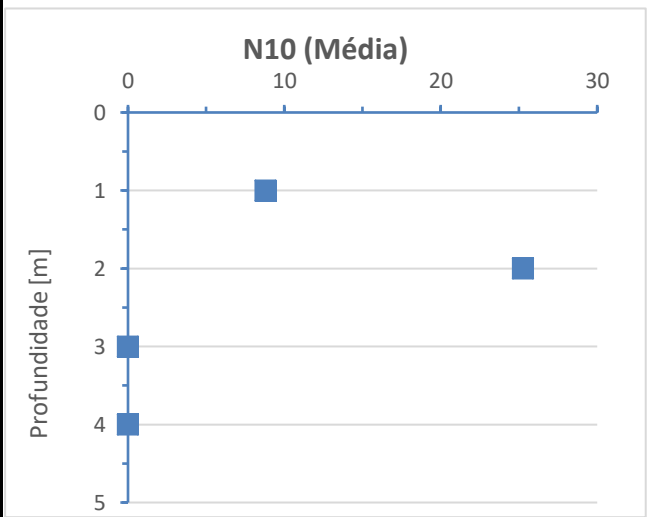
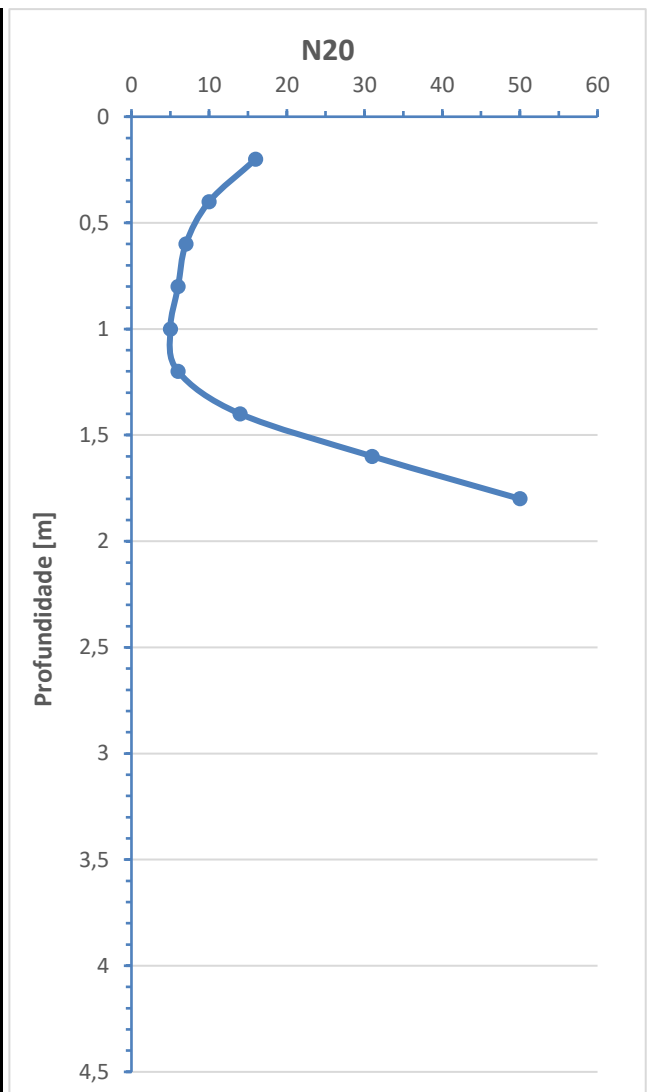
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH5
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	16	4,2		8,2	
0,4	10	4,4		8,4	
0,6	7	4,6		8,6	
0,8	6	4,8		8,8	
1	5	5		9	
N₂₀ (Méd)	8,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	6	5,2		9,2	
1,4	14	5,4		9,4	
1,6	31	5,6		9,6	
1,8	50	5,8		9,8	
2		6		10	
N₂₀ (Méd)	25,25	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2		6,2		10,2	
2,4		6,4		10,4	
2,6		6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





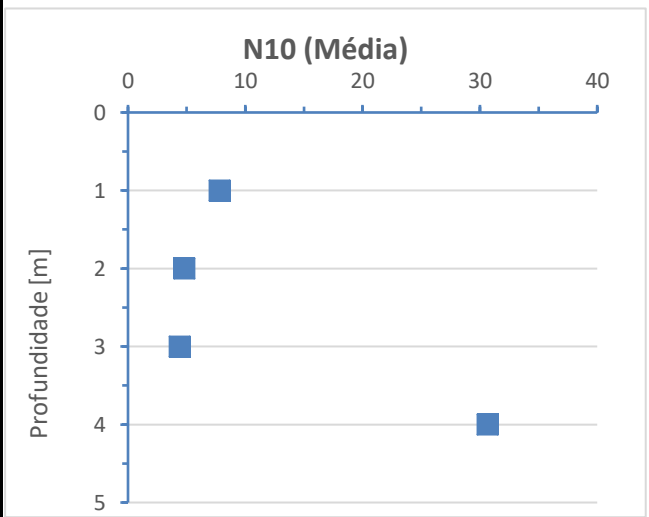
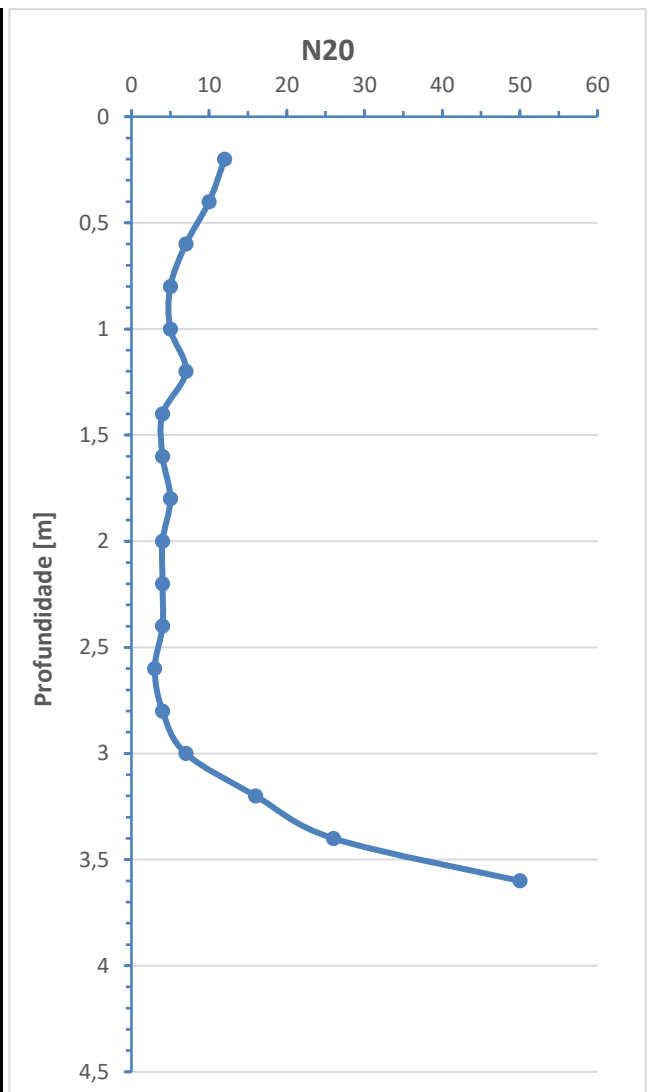
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH6
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	12	4,2		8,2	
0,4	10	4,4		8,4	
0,6	7	4,6		8,6	
0,8	5	4,8		8,8	
1	5	5		9	
N₂₀ (Méd)	7,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	7	5,2		9,2	
1,4	4	5,4		9,4	
1,6	4	5,6		9,6	
1,8	5	5,8		9,8	
2	4	6		10	
N₂₀ (Méd)	4,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	4	6,2		10,2	
2,4	4	6,4		10,4	
2,6	3	6,6		10,6	
2,8	4	6,8		10,8	
3	7	7		11	
N₂₀ (Méd)	4,4	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2	16	7,2		11,2	
3,4	26	7,4		11,4	
3,6	50	7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	30,6667	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!





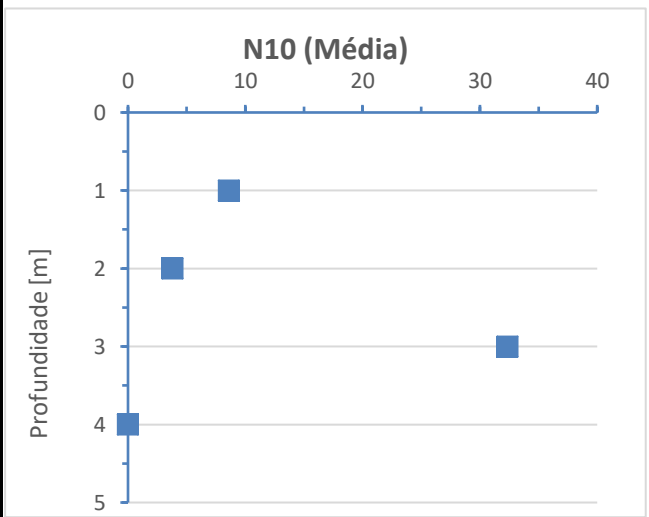
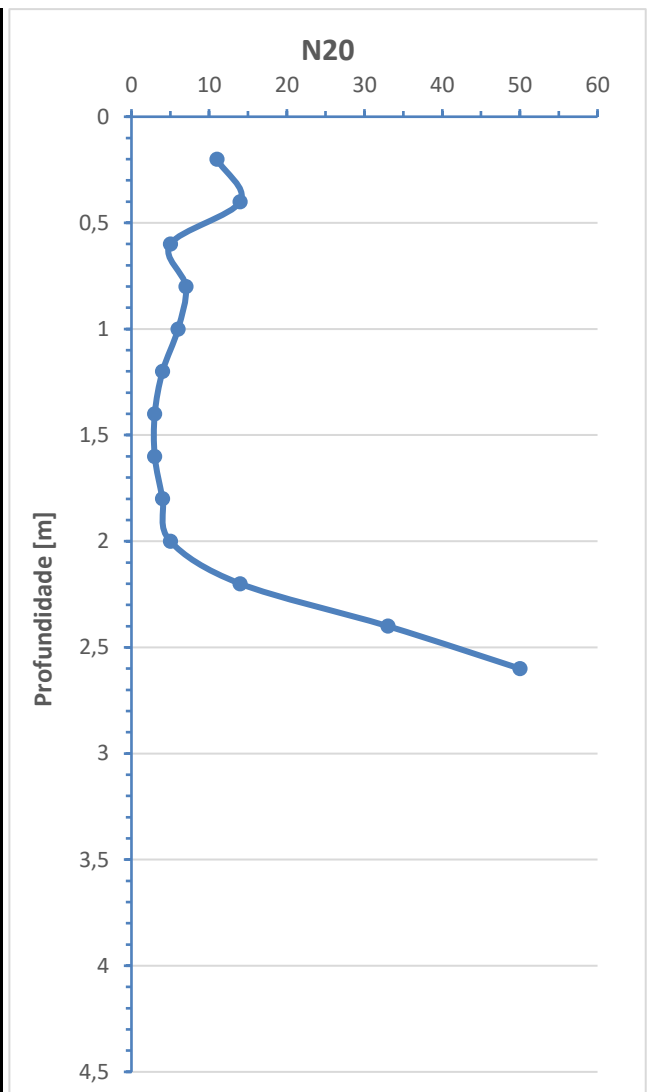
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaio de Penetração com DPSH

Posição:	-	Sondagem nº:	DPSH7
Data:	-		
Cone:	-	Nível de água:	

Cliente:	-	Local:	Seixagal 5300 Bragança
----------	---	--------	---------------------------

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	11	4,2		8,2	
0,4	14	4,4		8,4	
0,6	5	4,6		8,6	
0,8	7	4,8		8,8	
1	6	5		9	
N₂₀ (Méd)	8,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	4	5,2		9,2	
1,4	3	5,4		9,4	
1,6	3	5,6		9,6	
1,8	4	5,8		9,8	
2	5	6		10	
N₂₀ (Méd)	3,8	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	14	6,2		10,2	
2,4	33	6,4		10,4	
2,6	50	6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	32,3333	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!



Campo Experimental 4 – Vila Flor



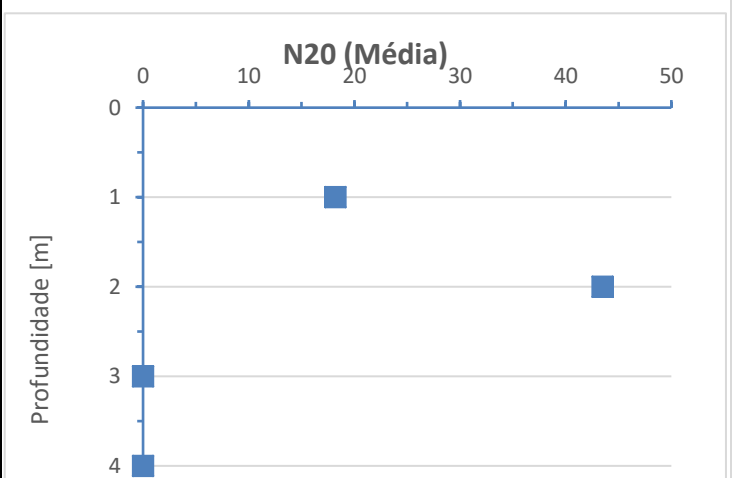
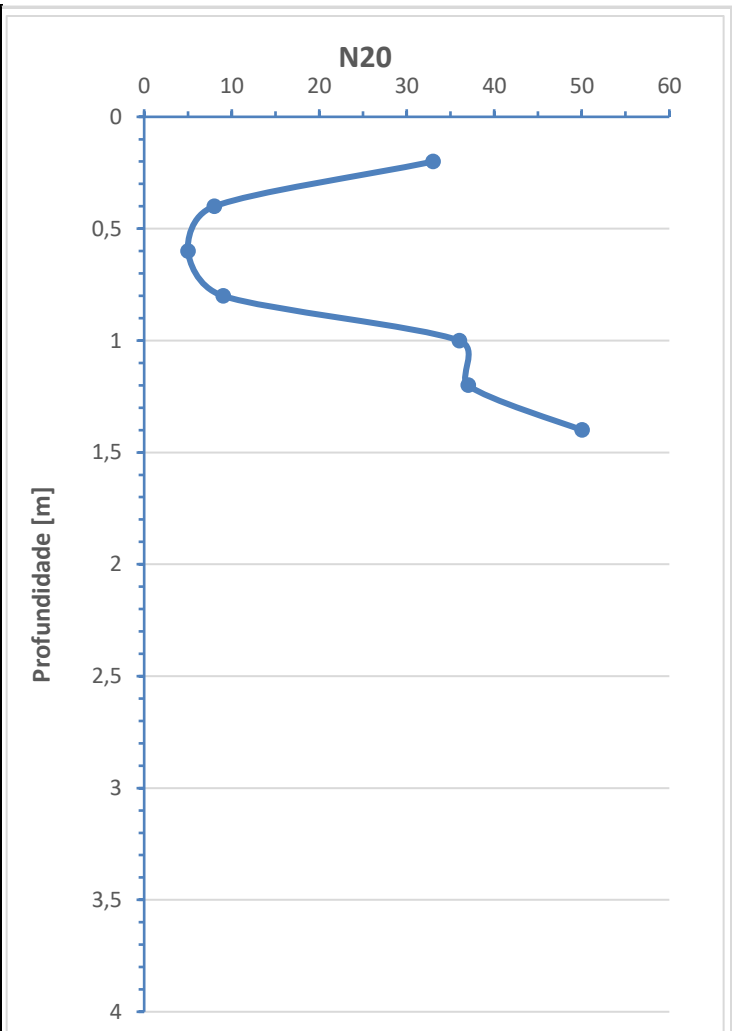
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	1	Sondagem nº:	P1
Coordenadas	Este:		Direita do eixo:
	Norte:		
	Elevação (Z):		
Data:	-	Nível de água:	Não Detectado

Cliente:	-	Obra:	-
		Local:	Vila Flor

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	33	4,2		8,2	
0,4	8	4,4		8,4	
0,6	5	4,6		8,6	
0,8	9	4,8		8,8	
1	36	5		9	
N₂₀ (Méd)	18,2	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	37	5,2		9,2	
1,4	50	5,4		9,4	
1,6		5,6		9,6	
1,8		5,8		9,8	
2		6		10	
N₂₀ (Méd)	43,5	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2		6,2		10,2	
2,4		6,4		10,4	
2,6		6,6		10,6	
2,8		6,8		10,8	
3		7		11	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!



*=8 cm



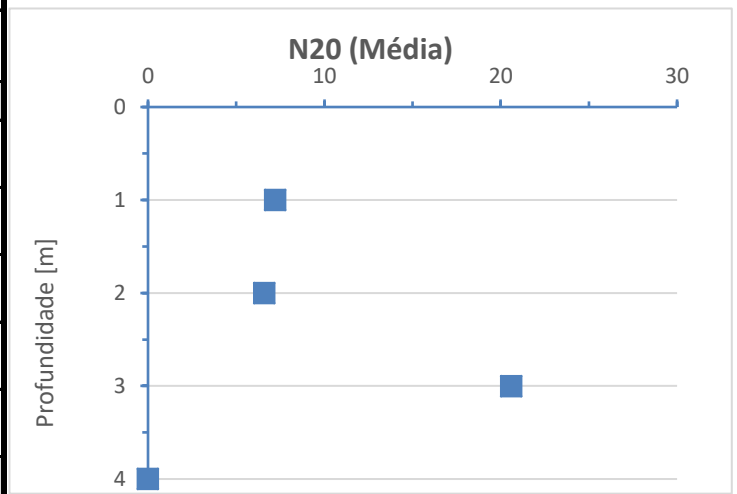
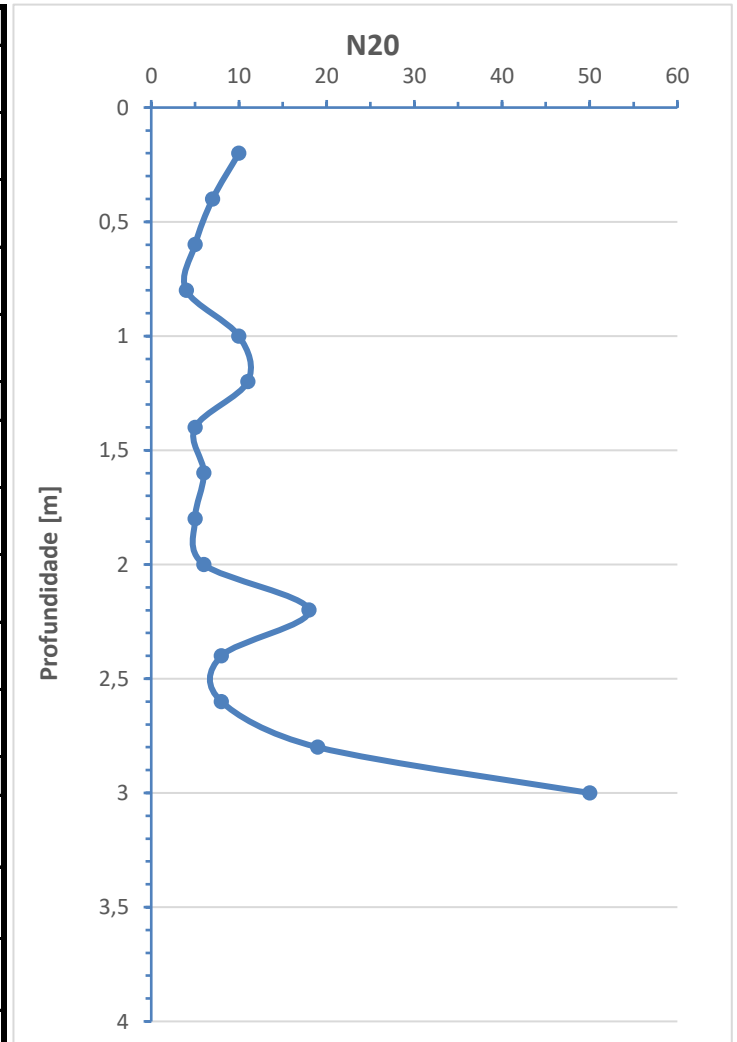
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Ensaios de Penetração com DPSH

Posição:	2	Sondagem nº:	P2
Coordenadas	Este	Esquerda do eixo:	
	Norte:		
	Elevação (Z):		
Data:	-	Nível de água:	Não detectado

Cliente:	-	Obra:	-
		Local:	Vila Flor

Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀	Z(m)	N ₂₀
0,2	10	4,2		8,2	
0,4	7	4,4		8,4	
0,6	5	4,6		8,6	
0,8	4	4,8		8,8	
1	10	5		9	
N₂₀ (Méd)	7,2	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
1,2	11	5,2		9,2	
1,4	5	5,4		9,4	
1,6	6	5,6		9,6	
1,8	5	5,8		9,8	
2	6	6		10	
N₂₀ (Méd)	6,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
2,2	18	6,2		10,2	
2,4	8	6,4		10,4	
2,6	8	6,6		10,6	
2,8	19	6,8		10,8	
3	50	7		11	
N₂₀ (Méd)	20,6	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!
3,2		7,2		11,2	
3,4		7,4		11,4	
3,6		7,6		11,6	
3,8		7,8		11,8	
4		8		12	
N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!	N₂₀ (Méd)	#DIV/0!



*=12cm