CESAN
qualidade em saneamento



CONTRATO 162/2018
OS Nº E-GOB-043-001-2018

MUNICÍPIO DE DOMINGOS MARTINS

BARRAGEM DOS IMIGRANTES RIO JUCU BRAÇO NORTE

VOLUME II – PROJETO GERAL RELATÓRIO TÉCNICO

TOMO A – ANÁLISE DOS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

E-062-000-00-0-RT-0002-0

SERVENG ENGENHARIA
SAHLIAH Engenharia LTDA
POENTE Engenharia & Consultoria

Outubro / 2020

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO 3
2. ÁREAS DE EMPRÉSTIMO – ATERRO 4
   2.1. LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS 5
   2.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS 8
      2.2.1. GRANULOMETRIA 10
      2.2.1.1. Área de Empréstimo 1 11
      2.2.1.2. Área de Empréstimo 2 13
      2.2.1.3. Área de Empréstimo 4 14
      2.2.2. PESO ESPECÍFICO 15
      2.2.3. LIMITES DE ATTERBERG 18
      2.2.3.1. Área de Empréstimo 1 18
      2.2.3.2. Área de Empréstimo 2 20
      2.2.3.3. Área de Empréstimo 4 21
      2.2.4. ÍNDICE DE VAZIOS 22
      2.2.5. COMPACTAÇÃO 24
      2.2.6. PERMEABILIDADE 27
3. VERTEDOURO 30
   3.1. LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS 30
   3.2. RESULTADO DOS ENSAIOS 31
      3.2.1. CARACTERIZAÇÃO 32
      3.2.2. COMPACTAÇÃO 33
      3.2.3. PERMEABILIDADE 33
      3.2.4. CISALHAMENTO DIRETO 33
      3.2.5. COMPRESSÃO TRIAXIAL 34
4. RESUMO E CONCLUSÕES 36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37
6. ANEXOS 38
   6.1. Curvas Granulométricas – Aterros 38

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Este documento tem como objetivo apresentar os resultados e análise dos ensaios realizados em áreas da barragem, para verificar a viabilidade da utilização dos materiais existentes na área para a construção da barragem e determinação dos parâmetros dos solos que serão utilizados no empreendimento denominado por Barragem dos Imigrantes, Rio Jucu, no município de Domingos Martins – ES.

Neste documento estão apresentados resultados das Áreas de Jazidas para o núcleo de aterro da Barragem e resultados dos ensaios realizados na área do vertedouro.

Ainda estão em execução ensaios das jazidas de areia e serão coletados blocos indeformados durante a escavação para implantação da barragem. Tais resultados e análises serão apresentadas em relatório posterior.

2. ÁREAS DE EMPRÉSTIMO – ATERRO

Para conhecer o solo da região e definir sua aplicabilidade nos aterros compactados do núcleo da Barragem, foi prevista uma campanha de ensaios em áreas próximas à barragem para serem utilizadas como jazida de material.

A definição preliminar das áreas de jazidas foi realizada com base nos levantamentos geológicos, mapeamento superficial das áreas próximas e mapas geológicos da região, levando em conta a proximidade da área de jazida com a obra. A Figura a seguir apresenta a locação das áreas analisadas neste documento.

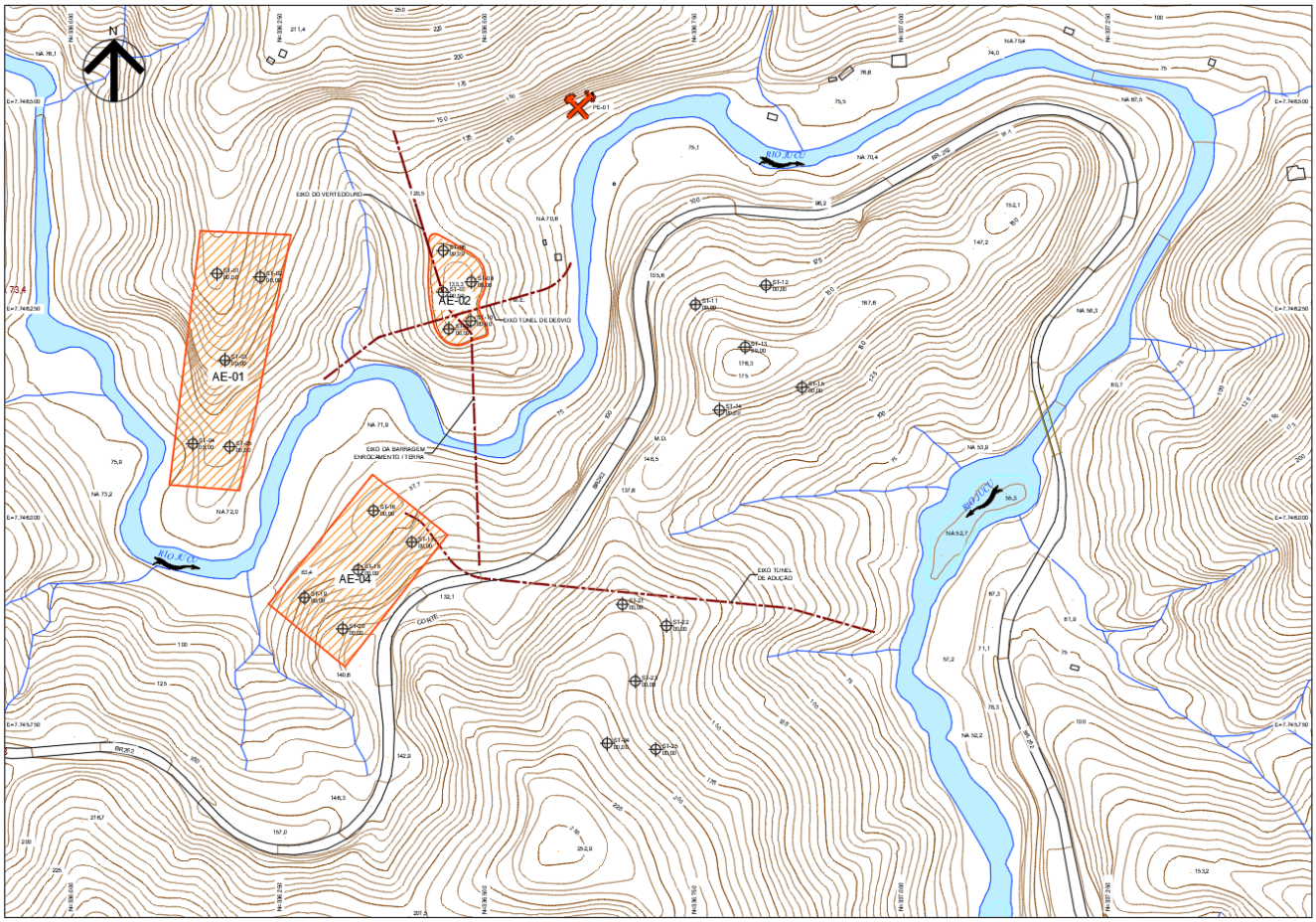


Figura 1 – Planta com locação das áreas de empréstimo

Para cada uma das áreas de empréstimo foi prevista a retirada de amostras deformadas, com a realização de descrição tátil visual das amostras e realização dos seguintes ensaios laboratoriais:

- Ensaio de caracterização completa: Granulometria (peneiramento e sedimentação), Limites de Atterberg (LL e LP); Umidade Natural (h %), Peso Específico dos Grãos (δ), Peso Específico Natural (γn) e índice de vazios (e)

Nos locais nos quais o solo for selecionado para utilização no corpo da barragem, deverão ser realizados os seguintes ensaios adicionais:

- Ensaio de compactação na energia normal;
- Ensaio de compressão triaxial CID (Consolidado Isotrópico Drenado) abrangendo 4 corpos de prova por ensaio, com tensões de confinamento de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 kgf/cm², nas amostras compactadas selecionadas;
- Ensaio de permeabilidade com carga variável nas amostras compactadas selecionadas.

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização e compactação, sendo definidas as áreas nas quais deverão ser realizados ensaios de compressão axial e de permeabilidade.

2.1. LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas em todas as áreas de empréstimo. Na Tabela a seguir estão apresentadas informações sobre cada coleta realizada.

Tabela 1 – Dados das sondagens a trado para coleta de amostras nas áreas de Jazidas

ÁREA	SONDAGEM TRADO	COORDENADAS		COTA DE BOCA (m)	PROF. ESTIMADA (m)	DATA	PROF. EXECUTADA (m)
		N (m)	E (m)				
AE-01	ST-01	7.746.299,374	336.169,359	155,70	6,00	05/11/19	5,00
	ST-02	7.746.295,170	336.221,525	136,35	6,00	05/11/19	5,00
	ST-03	7.746.195,062	336.178,936	122,08	6,00	07/11/19	6,00
	ST-04	7.746.094,639	336.140,249	75,45	6,00	05/11/19	4,80
	ST-05	7.746.091,076	336.184,458	87,97	6,00	06/11/19	6,00
AE-02	ST-06	7.746.327,009	336.441,807	127,27	6,00	04/11/19	6,00
	ST-07	7.746.276,963	336.441,783	130,21	6,00	05/11/19	3,00
	ST-07A			130,21	-	05/11/19	3,00
	ST-08	7.746.289,146	336.475,750	132,17	6,00	04/11/19	3,30
	ST-08A			132,17	-	04/11/19	2,00
	ST-09	7.746.232,536	336.448,470	129,60	6,00	04/11/19	3,00
	ST-09A			129,60	-	04/11/19	2,00
	ST-10	7.746.242,066	336.475,042	131,65	6,00	04/11/19	6,00
AE-03	ST-11	7.746.261,963	336.745,846	144,87	6,00		
	ST-12	7.746.285,285	336.830,706	135,72	6,00		
	ST-13	7.746.211,001	336.805,585	173,26	6,00		
	ST-14	7.746.135,116	336.774,640	156,26	6,00		
	ST-15	7.746.162,477	336.874,197		6,00		
AE-04	ST-16	7.746.014,068	336.357,941	88,11	6,00	10/01/20	6,00
	ST-16A			88,11	6,00	23/02/20	6,00
	ST-17	7.745.976,327	336.403,961	105,17	6,00	17/01/20	6,00
	ST-18	7.745.942,991	336.339,289	101,02	6,00	22/01/20	6,00
	ST-19	7.745.909,654	336.274,618	102,25	6,00	30/01/20	6,00
	ST-20	7.745.871,914	336.320,637	131,29	6,00	13/01/20	6,00
AE-05	ST-21	7.745.901,363	336.657,667	176,64	6,00		
	ST-22	7.745.875,658	336.710,699	173,35	6,00		
	ST-23	7.745.809,142	336.673,198	185,24	6,00		
	ST-24	7.745.734,278	336.639,324	209,28	6,00		
	ST-25	7.745.727,081	336.697,808	191,15	6,00		

A Figura a seguir apresenta a locação das sondagens a trado realizadas para coleta de amostras.

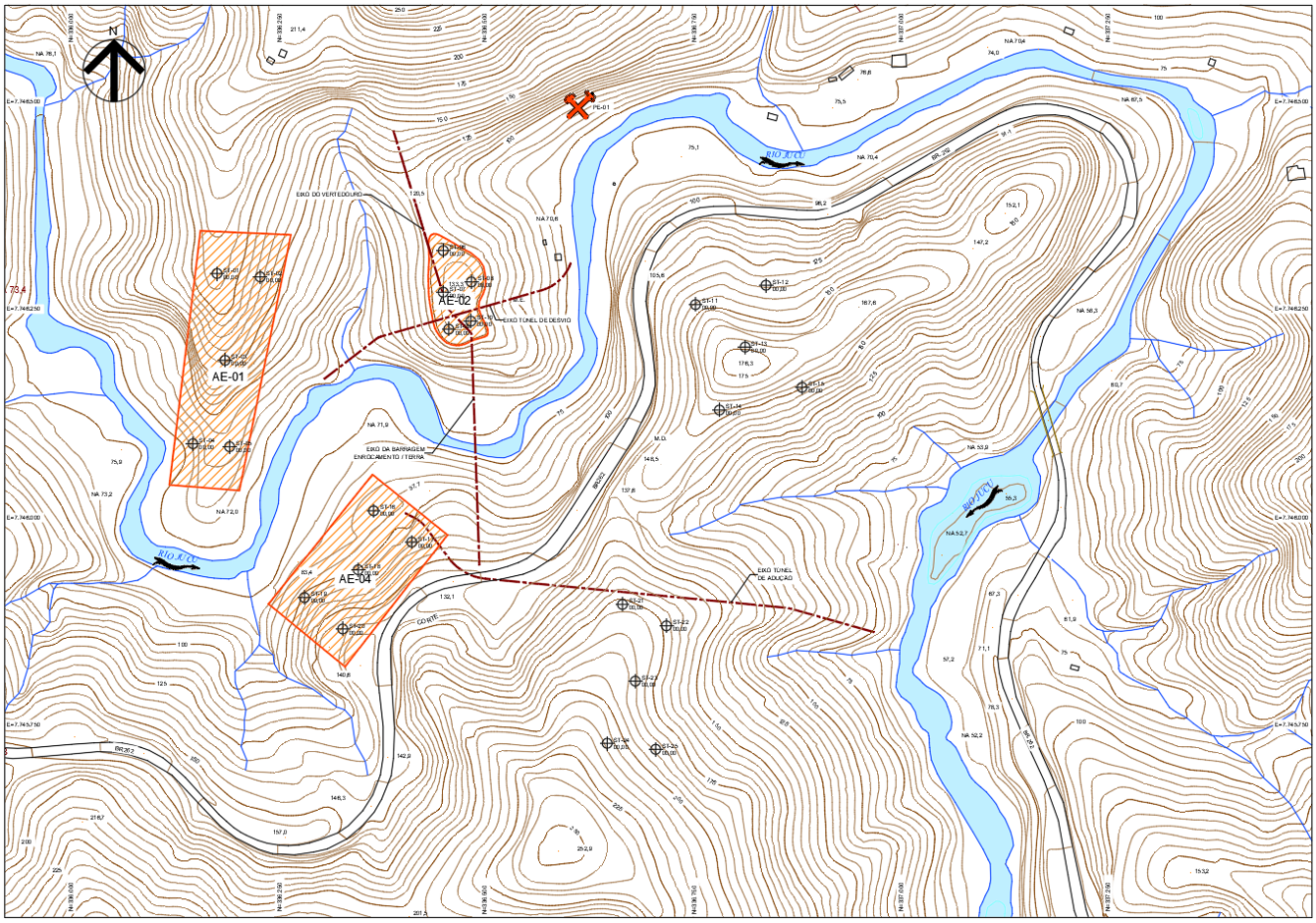


Figura 2 – Planta com locação das amostras

2.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS

Foram coletadas 41 amostras, sendo 16 amostras extraídas na área de empréstimo 01, 12 na área de empréstimo 02 e 13 amostras na área de empréstimo 04. para a realização de ensaios de caracterização completa, ou seja, granulometria (sedimentação, limites de liquidez e plasticidade, determinação de umidade natural, peso específico dos grãos, peso específico natural, determinação do índice de vazios, conforme apresentado na Tabela a seguir. O nome de cada amostra foi relacionado com o nome da sondagem e um número sequencial de acordo com a profundidade de coleta para o furo.

Tabela 2 – Identificação dos materiais coletados

id	Furo	Material	Profundidade
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m
6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m
10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m

29	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m
30	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m
31	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m
32	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m
33	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m
34	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m
35	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m
36	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m
37	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m
38	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m
39	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m
40	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m
41	ST-20 - AM 03	ARGILA ARENOSA VERMELHA	4,0 m A 6,0 m

Nos itens a seguir estão apresentados os principais resultados obtidos.

2.2.1. GRANULOMETRIA

A análise granulométrica é o estudo feito para o conhecimento da composição granulométrica de um solo, permitindo ter a percepção das porcentagens das partículas consistentes em função de suas dimensões, o que representa um elemento de grande valia para os estudos do comportamento desse solo.

A curva granulométrica é definida com a marcação da porcentagem de material com dimensões menores do que uma determinada dimensão versus essa dimensão de partícula, sendo desenhado em escala logarítmica.

O diâmetro do grão define o tipo de material, a classificação adotada pela ASTM está apresentada na Figura a seguir.

Foram realizados 41 ensaios cujos resultados estão apresentados nas Tabelas a seguir, em relação à porcentagem de material passante em cada peneira. Cada uma das Tabelas é referente à uma área de empréstimo.

As curvas granulométricas obtidas nos ensaios estão apresentadas no Anexo deste documento.

Tabela 3 – Classificação utilizada

Pedregulhos > 2,0mm	**Areia Média 2,0 a 0,42**	**Areia Fina 0,42 a 0,05**	**Silte 0,05 a 0,005**	**Argila < 0,005**

2.2.1.1. Área de Empréstimo 1

Tabela 4 – Granulometria obtido nas amostras da Área de Empréstimo 1

id	Furo	2'' (%)	1.1/2'' (%)	1'' (%)	3/4'' (%)	3/8'' (%)	Nº 4 (%)	Nº 10 (%)	Nº 16 (%)	Nº 30 (%)	Nº 40 (%)	Nº 50 (%)	Nº 100 (%)	Nº 200 (%)
1	ST-01 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,50	98,80	96,90	94,80	90,00	88,90	81,50	76,50	70,20
2	ST-01 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	98,70	98,10	97,70	96,90	96,10	90,10	85,30	63,10	52,30
3	ST-01 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,80	98,20	82,90	80,90	78,50	76,00	65,50	54,50
4	ST-02 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,50	98,50	93,10	90,40	90,10	88,70	85,10	80,40	73,20
5	ST-02 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40	91,80	87,40	87,00	85,10	80,20	77,30	64,80
6	ST-02 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	97,50	95,60	91,00	84,40	83,30	80,20	75,80
7	ST-03 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	99,00	98,70	97,50	93,40	93,30	84,70	83,00	74,00	61,70
8	ST-03 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	99,80	98,10	96,90	95,90	84,30	82,20	81,20	78,20
9	ST-03 - AM 04	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	97,30	94,60	93,40	86,00	84,60	80,10	71,70
10	ST-04 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	99,40	95,00	91,50	87,90	83,40	82,30	79,10	76,30
11	ST-04 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,00	91,50	86,90	80,60	76,20	74,90	70,00	65,30
12	ST-04 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	98,50	96,60	88,70	83,00	82,90	75,80	74,70	72,40	65,40
13	ST-05 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	99,30	95,40	92,00	91,10	85,60	78,00	75,00	73,70
14	ST-05 - AM 02	100,00	100,00	99,70	99,50	98,00	96,40	94,20	89,10	85,60	83,30	80,30	75,60	67,80
15	ST-05 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	99,00	95,20	92,00	86,30	70,60	60,70	56,30	49,00
16	ST-05 - AM 04	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	96,70	93,40	91,70	85,90	80,40	76,80	73,60

Tabela 5 – Porcentagem de material por ensaio da Área de Empréstimo 1

id	Furo	Pedregulhos > 2,0mm	Areia Média 2,0 a 0,42	Areia Fina 0,42 a 0,05	Silte 0,05 a 0,005	Argila < 0,005
1	ST-01 - AM 01	3,10	8,00	22,60	33,20	33,00
2	ST-01 - AM 02	2,30	7,60	48,80	34,00	7,30
3	ST-01 - AM 03	1,8	19,6	33,7	33,5	11,3
4	ST-02 - AM 01	6,9	4,4	21,4	38,1	29,2
5	ST-02 - AM 02	8,2	6,7	38,4	11	35,8
6	ST-02 - AM 03	2,5	13,1	20,5	43,4	20,5
7	ST-03 - AM 02	2,5	12,8	30,2	17,6	36,9
8	ST-03 - AM 03	1,9	13,8	9,3	31,2	43,8
9	ST-03 - AM 04	2,7	11,3	30,2	12,7	43,1
10	ST-04 - AM 01	5	11,6	12,2	31,9	39,4
11	ST-04 - AM 02	8,5	15,2	27,7	27,4	21,2
12	ST-04 - AM 03	11,3	12,9	22,5	32	21,3
13	ST-05 - AM 01	4,6	9,8	16,4	28,4	40,8
14	ST-05 - AM 02	5,8	10,9	26,4	28,2	28,7
15	ST-05 - AM 03	4,8	24,7	29,8	28,9	11,9
16	ST-05 - AM 04	3,3	10,8	15,7	38,2	32,1

2.2.1.2. Área de Empréstimo 2

Tabela 6 – Granulometria obtido nas amostras da Área de Empréstimo 2

id	Furo	2'' (%)	1.1/2'' (%)	1'' (%)	3/4'' (%)	3/8'' (%)	Nº 4 (%)	Nº 10 (%)	Nº 16 (%)	Nº 30 (%)	Nº 40 (%)	Nº 50 (%)	Nº 100 (%)	Nº 200 (%)
17	ST-06 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	98,50	98,30	96,00	94,70	94,50	88,90	84,50	74,50	64,70
18	ST-06 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	95,70	94,70	93,80	90,90	88,90	81,60	80,80	75,70	60,00
19	ST-06 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	98,30	97,60	94,30	94,10	83,30	81,10	79,50	64,00
20	ST-06 - AM 04	100,00	100,00	100,00	100,00	97,20	96,30	93,30	91,10	88,10	73,40	57,70	51,50	40,20
21	ST-07 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	97,00	96,70	96,20	94,90	94,30	84,00	83,20	79,20	64,20
22	ST-08 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	97,40	96,20	92,50	89,60	86,30	73,70	62,50	57,90	51,80
23	ST-08 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	97,40	97,30	94,90	89,80	89,20	88,60	85,40	83,40	82,50
24	ST-09 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	98,30	98,20	93,10	87,70	87,10	81,60	81,10	79,60	71,60
25	ST-09 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	97,30	96,80	93,50	91,30	90,60	87,40	81,70	80,00	78,50
26	ST-10 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	95,70	95,30	91,50	89,20	87,90	76,00	75,90	73,30	68,20
27	ST-10 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	99,40	98,80	95,50	94,20	91,10	87,80	82,10	81,30	78,70
28	ST-10 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	99,00	94,40	92,10	88,00	73,00	58,90	54,20	45,70

Tabela 7 – Porcentagem de material por ensaio da Área de Empréstimo 2

id	Furo	Pedregulhos > 2,0mm	Areia Média 2,0 a 0,42	Areia Fina 0,42 a 0,05	Silte 0,05 a 0,005	Argila < 0,005
17	ST-06 - AM 01	4	7,1	42,2	33	13,6
18	ST-06 - AM 02	6,2	12,1	28,7	19,8	33,1
19	ST-06 - AM 03	2,4	14,3	21	12,6	49,7
20	ST-06 - AM 04	6,7	19,9	43,9	11,6	17,9
21	ST-07 - AM 01	3,8	12,2	24,9	29,4	29,7
22	ST-08 - AM 01	7,5	18,8	27,9	25,4	20,4
23	ST-08 - AM 02	5,1	6,3	19,1	18,6	50,8
24	ST-09 - AM 01	6,9	11,6	18,7	17,3	45,6
25	ST-09 - AM 02	6,5	6,1	25,7	21,1	40,5
26	ST-10 - AM 01	8,5	15,5	19,3	22,9	33,8
27	ST-10 - AM 02	4,5	7,7	14,7	19,6	53,5
28	ST-10 - AM 03	5,6	21,4	31,8	24,5	16,6

2.2.1.3. Área de Empréstimo 4

Tabela 8 – Granulometria obtido nas amostras da Área de Empréstimo 4

id	AE	Furo	2'' (%)	1.1/2'' (%)	1'' (%)	3/4'' (%)	3/8'' (%)	Nº 4 (%)	Nº 10 (%)	Nº 16 (%)	Nº 30 (%)	Nº 40 (%)	Nº 50 (%)	Nº 100 (%)	Nº 200 (%)
29	4	ST-16 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,20	94,00	88,80	69,80	54,10	48,50	40,80
30	4	ST-16 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,80	96,50	92,40	78,70	63,10	58,10	47,70
31	4	ST-17 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	95,80	92,70	88,60	75,50	64,60	60,00	54,00
32	4	ST-17 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	99,70	96,80	94,00	93,00	83,10	76,80	73,80	71,60
33	4	ST-17 - AM 04	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	97,00	94,50	93,80	93,00	86,00	85,40	80,30
34	4	ST-18 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	92,90	84,80	83,40	81,00	72,60	65,20	62,10	56,40
35	4	ST-18 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	96,10	94,60	91,40	90,10	88,90	81,80	73,90	71,20	65,50
36	4	ST-19 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40	96,50	91,20	89,50	86,50	74,90	63,40	59,20	50,60
37	4	ST-19 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	95,30	92,80	89,10	75,40	64,20	60,30	54,90
38	4	ST-19 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,50	97,20	93,30	90,70	85,70	72,50	62,40	58,80	54,60
39	4	ST-20 - AM 01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	96,40	93,60	90,10	76,80	65,00	60,80	55,30
40	4	ST-20 - AM 02	100,00	100,00	100,00	100,00	98,20	96,70	93,50	92,40	90,40	78,00	66,30	61,70	54,50
41	4	ST-20 - AM 03	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	98,10	95,30	91,30	77,40	66,00	60,80	54,70

Tabela 9 – Porcentagem de material por ensaio da Área de Empréstimo 4

id	Furo	Pedregulhos > 2,0mm	Areia Média 2,0 a 0,42	Areia Fina 0,42 a 0,05	Silte 0,05 a 0,005	Argila < 0,005
29	ST-16 - AM 01	1,8	28,4	34,9	12,8	22,1
30	ST-16 - AM 02	1,2	20,1	40,5	23,7	14,4
31	ST-17 - AM 01	4,2	20,3	31,3	40,3	3,9
32	ST-17 - AM 02	3,2	13,7	14,7	21,5	46,9
33	ST-17 - AM 04	3	4	16,2	28,4	48,4
34	ST-18 - AM 01	15,2	12,2	17,4	9,3	45,9
35	ST-18 - AM 03	8,6	9,6	21,5	16	44,4
36	ST-19 - AM 01	8,8	16,3	34,4	30,5	10
37	ST-19 - AM 02	4,7	19,8	22	11	42,4
38	ST-19 - AM 03	6,7	20,7	18,6	7,7	46,2
39	ST-20 - AM 01	3,6	19,6	30,7	11,4	34,7
40	ST-20 - AM 02	6,5	15,5	36,8	32,4	8,9
41	ST-20 - AM 03	1,9	20,6	26,3	8,5	42,6

Os resultados apresentados nas Tabela 4 à Tabela 9 com a análise granulométrica das amostras extraídas das áreas de empréstimos 01, 02 e 04, mostram que as 41 amostras apresentam porcentagens de finos (Silte + Argila) acima de 50%, atingindo fração de argila (< 0,005 mm) acima de 30 a 40 % mostrando suas características plásticas e baixa permeabilidade e comportamento predominante coesivo dos solos das jazidas exploradas.

Os materiais são adequados para utilização nos aterros das ensecadeiras (vedação) e a construção da barragem de enrocamento, núcleos e espaldares. Os solos explorados podem ser classificados como silte- argilosos, arenosos, com baixas porcentagens de pedregulhos (< 10%) na grande porcentagem das amostras.

2.2.2. PESO ESPECÍFICO

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de peso específicos dos grãos e peso específico natural.

O peso específico (ou densidade real) de solos é a relação entre o peso específico das partículas sólidas (γ_s), e o peso específico de igual volume de água pura a 4°C (γα). Também é chamada de densidade relativa das partículas que constitui o solo.

O peso específico natural é a relação entre o peso total do solo e seu volume, sendo expresso pelo símbolo γ_n.

O peso específico dos sólidos varia pouco de solo para solo, em função dos minerais constituintes e da porcentagem de cada um deles no solo.

As Tabelas a seguir apresentam um resumo dos valores resultantes para as amostras ensaiadas.

Tabela 10 – Peso específico obtido nas amostras da Área de Empréstimo 1

id	Furo	Material	Profundidade	Peso específico dos grãos (g/cm³)
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m	2,23
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m	2,323
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	2,237
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m	2,319
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m	2,648
6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	2,148
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m	2,569
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m	2,337
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	2,376

10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m	2,261
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m	2,244
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m	2,226
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m	2,467
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m	2,44
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m	2,346
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m	2,476

Tabela 11 – Peso específico obtido nas amostras da Área de Empréstimo 2

Id	Furo	Material	Profundidade	Peso específico dos grãos (g/cm³)
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m	2,395
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m	2,496
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m	2,458
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	2,269
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m	2,286
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m	2,249
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m	2,558
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	2,255
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m	2,473
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	2,268
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m	2,158
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	2,259

Tabela 12 – Peso específico obtido nas amostras da Área de Empréstimo 4

id	Furo	Material	Profundidade	Peso específico dos grãos (g/cm³)
29	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m	2,268
30	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m	2,282
31	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m	2,061
32	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m	2,328
33	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	2,267

34	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m	2,328
35	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	2,149
36	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m	2,193
37	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m	2,237
38	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m	2,269
39	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m	2,239
40	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m	2,236
41	ST-20 - AM 03	ARGILA ARENOSA VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	2,244

O peso específico dos grãos não apresentou grandes variações, a tabela a seguir apresenta um resumo do resultado obtido.

Área de Empréstimo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio
1	2,15	2,65	2,35
2	2,16	2,56	2,34
4	2,06	2,33	2,24
		VALOR MÉDIO	2,31

2.2.3. LIMITES DE ATTERBERG

Este ensaio foi proposto pelo engenheiro químico Atterberg e adaptados pelo professor Arthur Casagrande para classificação de materiais com predominância argilosa. Se baseia que, quando um material argiloso quando se encontra muito úmido se comporta como um líquido, quando perde parte desta água se torna plástico; e quando mais seco torna-se quebradiço.

Os teores de umidades correspondentes às mudanças de estado são definidos como Limites de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. A diferença entre os dois valores é denominada por índice de plasticidade (IP). Os valores obtidos nos ensaios estão apresentados na Tabela a seguir.

2.2.3.1. Área de Empréstimo 1

id	Furo	Material	Profundidade	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Classificação Casagrande
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m	56,2	28,4	27,8	CH
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m	46,8	28,9	17,9	ML
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	47,1	30,6	16,5	ML
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m	48,4	35,7	**12,7**	ML
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m	46	35,5	**10,5**	ML
6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	46	31,6	14,4	ML
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m	41	23,1	17,9	CL
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m	47,8	31,8	16	ML
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	45,9	36,7	**9,2**	ML
10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m	34,2	23,3	**10,9**	CL-MH
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m	N.L	N.P	-	-
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m	N.L	N.P	-	-
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m	62,8	40,4	22,4	MH
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m	49,2	36,4	**12,8**	ML
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m	42	35,9	**6,1**	ML
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m	43	31,2	11,8	ML

Os valores destacados na Tabela acima apresentam características inferiores aos demais pontos. Quanto mais elevado o índice de plasticidade mais adequado o solo para ser utilizado no núcleo da barragem.

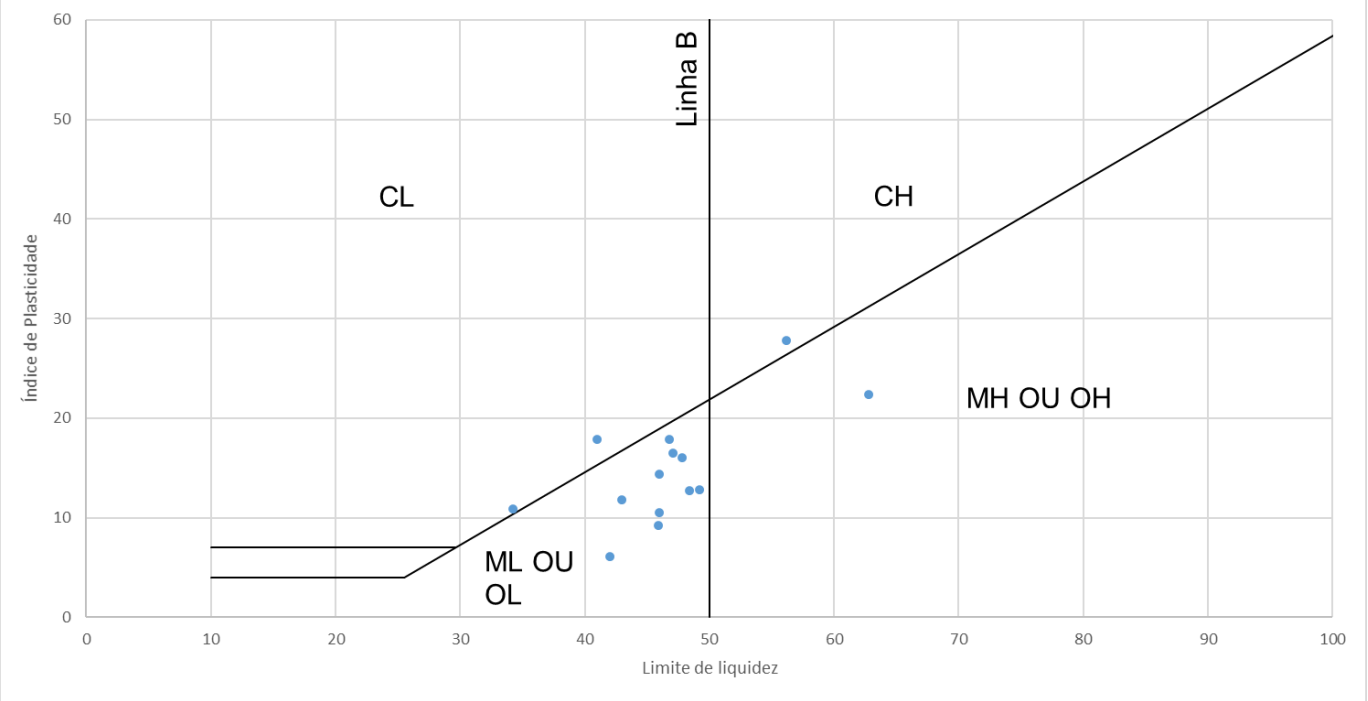


Figura 3 – Classificação dos pontos ensaiados na Área de Empréstimo 1

2.2.3.2. Área de Empréstimo 2

id	Furo	Material	Profundidade	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Classificação Casagrande
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m	45,70	32,30	13,40	ML
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m	35,00	22,60	12,40	CL
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m	42,70	28,40	14,30	ML
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	N.L	N.P	-	-
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m	45,00	30,50	14,50	ML
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m	42,20	27,30	14,90	ML
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m	37,00	25,70	11,30	ML
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	38,00	23,40	14,60	CL
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m	37,10	23,80	13,30	CL
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	33,70	19,20	14,50	CL
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m	34,70	24,70	10,00	ML
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	41,80	23,10	18,70	CL

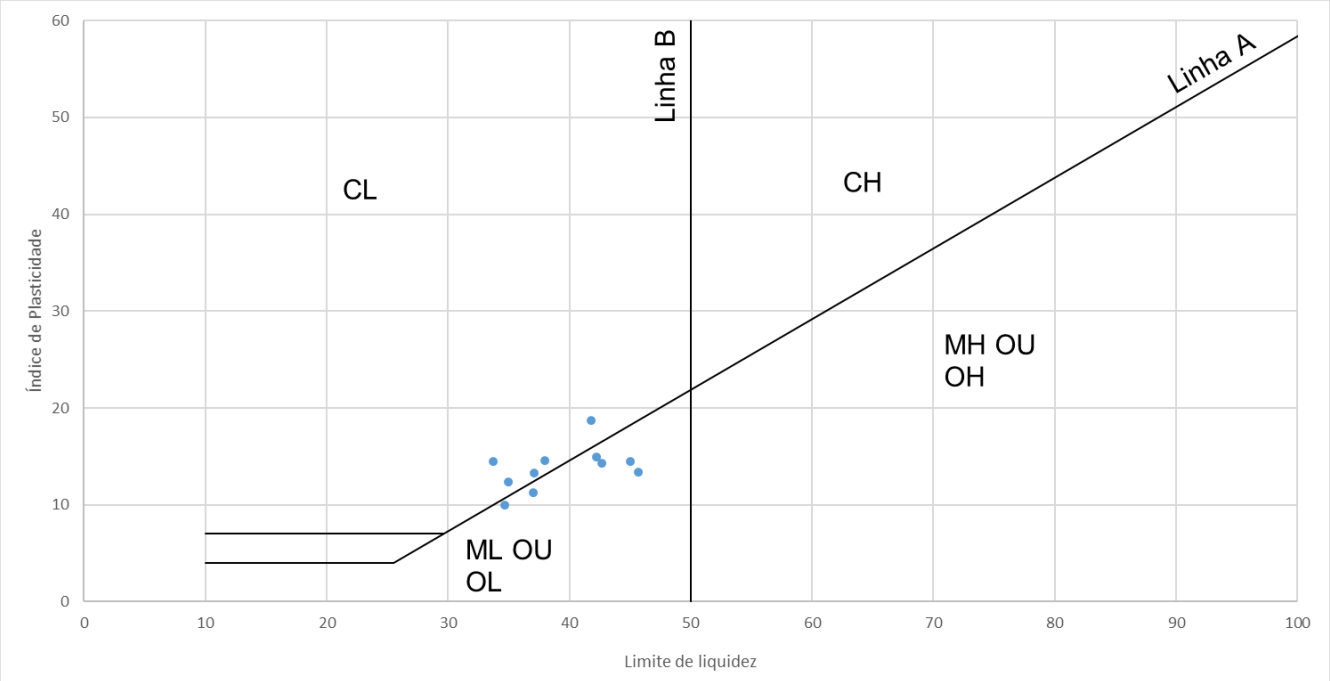


Figura 4 – Classificação dos pontos ensaiados na Área de Empréstimo 2

2.2.3.3. Área de Empréstimo 4

id	AE	Furo	Material	Profundidade	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Classificação Casagrande
29	4	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m	42,90	23,40	19,50	CL
30	4	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m	47,00	28,70	18,30	ML
31	4	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m	51,40	30,60	20,80	MH
32	4	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m	56,00	29,60	26,40	CH-MH
33	4	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	50,10	35,50	14,60	MH
34	4	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m	35,00	24,60	10,40	CL-MH
35	4	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	38,30	23,60	14,70	CL
36	4	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m	32,90	25,60	7,30	ML
37	4	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m	42,00	28,90	13,10	ML
38	4	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m	48,00	29,40	18,60	ML
39	4	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m	54,80	29,00	25,80	CH-MH
40	4	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m	35,10	27,70	7,40	ML

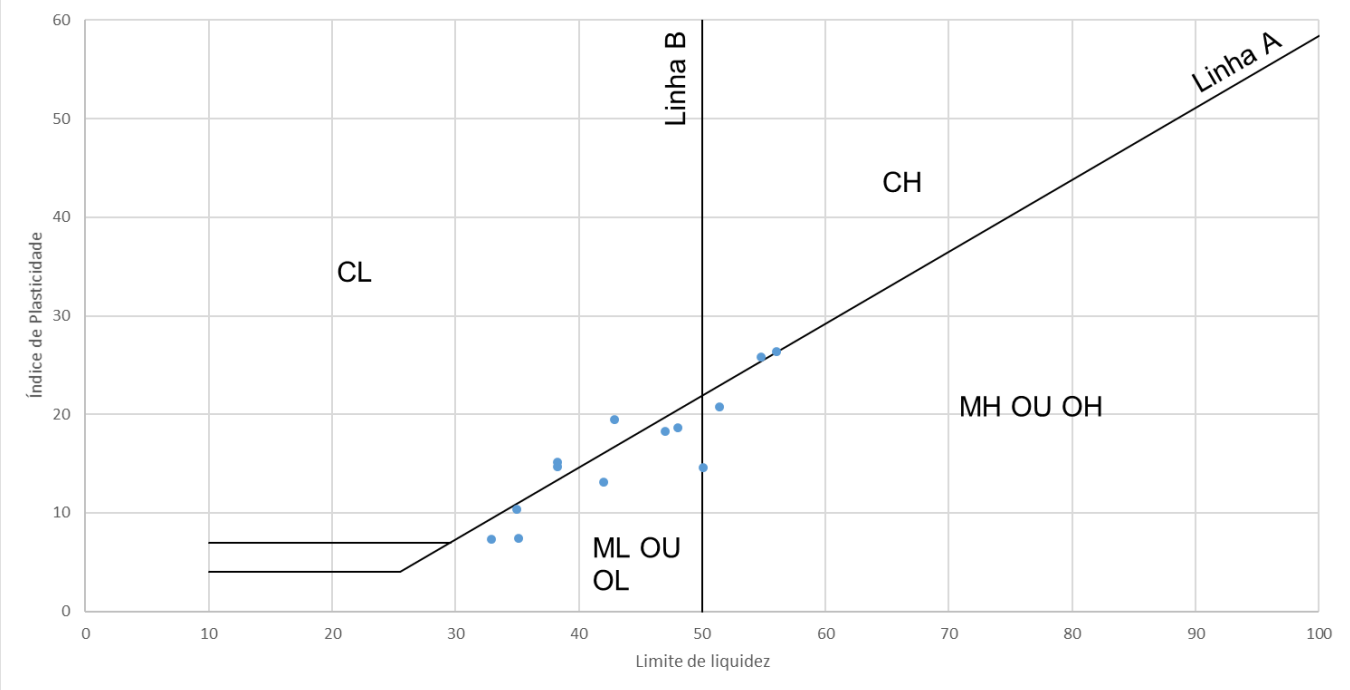


Figura 5 – Classificação dos pontos ensaiados na Área de Empréstimo 4

Os resultados de grande parte de LL e LP se alinham ao longo da linha A e com valores de LL < 50 (linha B), podendo ser classificados como CL e ML, segundo A Carta de Casagrande, ou seja, solos silte argilosos, argilas areno-siltosas de plasticidade média a baixa.

Uma das características dos solos coesivos é sua maior deformabilidade e baixa permeabilidade após a compactação, quanto maior seu LL (Limite de Liquidez) e seu IP (índice de plasticidade).

Os valores destacados nas tabelas, apresentam IP menor que 15. Os solos com IP maior que 15 apresentam característica melhor para serem utilizados no núcleo da barragem.

2.2.4. ÍNDICE DE VAZIOS

O índice de vazios é a relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas.

A comparação entre o índice de vazios obtido em campo com os índices mínimo e máximo permitem averiguar se o solo se encontra em estado fofo ou compacto.

Tabela 13 – Índice de Vazios obtido nas amostras da Área de Empréstimo 1

id	Furo	Material	Profundidade	Índice de Vazios Mínimo	Índice de Vazios Máximo
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m	0,29	1,11
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m	0,5	1,04
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	0,45	0,98
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m	0,37	1,01
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m	0,53	1,27
6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	0,26	0,97
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m	0,49	1,18
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m	0,34	0,9
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	0,37	1,06
10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m	0,39	0,99
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m	0,28	1,15
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m	0,24	0,96
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m	0,54	1,15
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m	0,47	1,29
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m	0,34	1,31
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m	0,48	1,12

Tabela 14 – Índice de Vazios obtido nas amostras da Área de Empréstimo 2

id	Furo	Material	Profundidade	Índice de Vazios mínimo	Índice de Vazios Máximo
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m	0,38	1,01
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m	0,35	1,05
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m	0,45	1,18
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	0,29	1,14
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m	0,34	0,93
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m	0,26	1,09
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m	0,38	1,12
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	0,23	0,8
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m	0,35	0,94
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	0,23	0,98
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m	0,31	0,98
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	0,27	0,95

Tabela 15 – Índice de Vazios obtido nas amostras da Área de Empréstimo 4

id	Furo	Material	Profundidade	Índice de Vazios mínimo	Índice de Vazios Máximo
29	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m	0,35	0,96
30	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m	0,38	1,04
31	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m	0,12	0,75
32	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m	0,32	0,9
33	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	0,31	1,11
34	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m	0,24	0,91
35	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	0,44	0,95
36	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m	0,29	0,88
37	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m	0,27	0,9
38	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m	0,26	0,91
39	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m	0,24	0,91
40	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m	0,28	0,87
41	ST-20 - AM 03	ARGILA ARENOSA VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	0,2	0,94

2.2.5. COMPACTAÇÃO

Compactação é a operação da qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo (e de outros materiais, como misturas betuminosas, etc), pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, o que faz com que as partículas constitutivas do material entrem em contato mais íntimo, pela expulsão de ar. Com a redução da percentagem de vazios de ar, consegue-se também reduzir a tendência de variação dos teores de umidade dos materiais integrantes do pavimento, durante a vida de serviço.

Os aterros constam basicamente de movimentação de terra, com retirada de material da área de empréstimo para colocação na área de destino, elevando o nível do terreno até a cota que se deseja.

O solo, quando transportado e depositado para a construção de um aterro, fica num estado fofo e heterogêneo, ou seja, pouco resistente e muito deformável, além de apresentar comportamento diferente de local para local. Deste modo, a compactação visa aumentar intimidade de contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo, melhorando diversas propriedades do solo (Pinto, 2006).

De acordo com Gusmão Filho (2006) o aterro compactado deve satisfazer aos seguintes critérios:

- Ter resistência suficiente para suportar seu peso próprio e o das estruturas sobre ele, com segurança;
- Ter valores de recalques que não afetem as estruturas que o mesmo suporta
- Manter sua resistência;
- Ser livre de inchamentos e retrações excessivas.

O que determina se o aterro cumpre aos requisitos de funcionamento são o tipo de solo no qual o aterro está apoiado e o solo da compactação. O solo da camada de apoio deve ser resistente e pouco deformável, ou seja, deve ser capaz de suportar o peso do aterro e das estruturas da superfície.

Os resultados obtidos para a massa específica aparente máxima do solo e a umidade ótima estão apresentados na Tabela a seguir. Juntamente, foi apresentado também qual a umidade natural do material e qual a variação de umidade que será necessária para atingir a máxima compactação.

id	Furo	Material	Profundi-dade	Massa esp. seca máxima (g/cm²)	Umidade ótima (%)	Umidade Natural (%)	ΔH
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m	1,727	21,00	12,30	8,70
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m	1,545	23,00	12,60	10,40
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	1,538	22,50	11,00	11,50
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m	1,690	19,30	17,3	2,00
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m	1,734	17,20	13,4	3,80
6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	1,709	18,10	14,2	3,90
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m	1,723	16,30	12,9	3,40
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m	1,740	17,30	12,7	4,60
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	1,738	15,80	12,3	3,50
10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m	1 ,625	21,10	10,7	10,40
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m	1,755	18,30	16,5	1,80
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m	1,796	15,00	22,8	-7,80
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m	1,602	21,00	14	7,00
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m	1,663	19,50	15,7	3,80
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m	1,754	18,10	15,7	2,40
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m	1,676	20,10	14,1	6,00
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m	1,732	17,80	16,1	1,70
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m	1,848	14,00	12,5	1,50
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m	1,694	18,90	15,8	3,10
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	1,753	21,90	18,4	3,50
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m	1,704	19,10	13,2	5,90
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m	1,779	17,30	10,6	6,70
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m	1,849	14,50	12,8	1,70
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	1,838	13,40	10,7	2,70
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m	1,833	14,20	10,7	3,50
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	1,839	14,20	9	5,20
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m	1,649	18,10	9	9,10
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	1,775	15,90	12,9	3,00
29	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m	1,675	17,70	20,2	-2,50
30	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m	1,652	18,50	14,5	4,00

31	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m	1,844	15,70	17,8	-2,10
32	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m	1,767	15,30	17,4	-2,10
33	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	1,732	16,70	24,4	-7,70
34	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m	1,875	13,90	17,2	-3,30
35	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	1,490	21,80	8,9	12,90
36	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m	1,702	17,70	10,8	6,90
37	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m	1,766	15,80	18,7	-2,90
38	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m	1,800	19,00	15,8	3,20
39	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m	1,812	16,90	23,5	-6,60
40	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m	1,750	17,40	6,6	10,80
41	ST-20 - AM 03	ARGILA ARENOSA VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	1,870	17,20	13,8	3,40

As especificações da compactação a ser realizada em campo são resumidos a dois adimensionais: grau de compactação (GC) e desvio de umidade (Δh) e ambos são expressos pelas equações a seguir:

$$GC = \frac{\gamma_{s,campo}}{\gamma_{s,max}} \quad (2.1)$$

$$\Delta h = h_{campo} - h_{ot} \quad (2.2)$$

A umidade ótima (h_{ot}) e o peso específico seco máximo ($\gamma_{s,max}$) são dados fornecidos pelo laboratório a partir dos ensaios supracitados. De acordo com a especificação técnica do aterro da barragem, admite-se uma tolerância na variação da umidade ótima medida em campo de +1,5% a +3,0%. Todas as camadas serão compactadas de modo a atingir um grau de compactação médio de 98%, em relação do Proctor Normal, em toda a sua extensão e espessura. O grau de compactação mínimo aceitável, em pontos localizados, será de 96% e o máximo de 102%.

A correção da umidade para atender à umidade ótima prevista para o material que está sendo utilizado, considerando os resultados apresentados (por área de empréstimo e por profundidade), deverá ser realizada na própria área de empréstimo de modo a atender às especificações para compactação.

2.2.6. PERMEABILIDADE

O ensaio de permeabilidade é realizado com o objetivo de medir o coeficiente de permeabilidade do solo, que é uma propriedade do material que representa com que facilidade o fluxo de água passa por este material.

O ensaio foi realizado em laboratório através de permeâmetro de carga variável, conforme ilustrado na Figura a seguir.

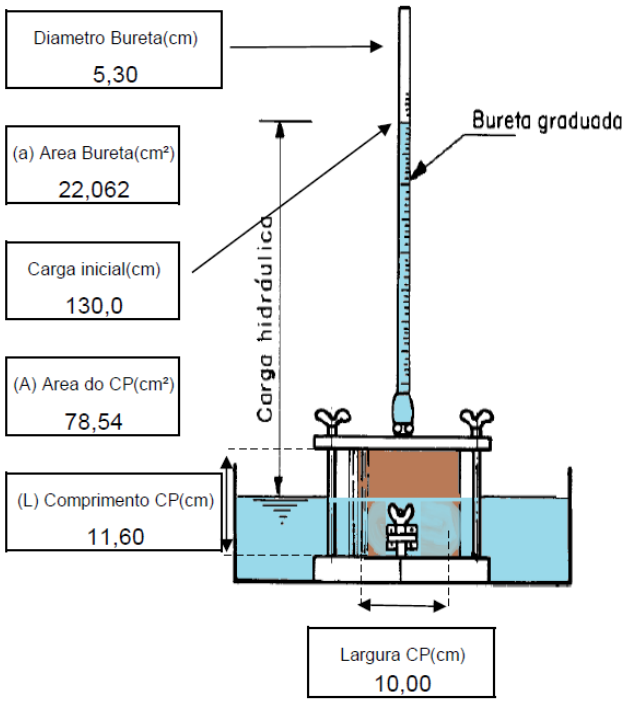


Figura 6 – Esquema do ensaio de permeabilidade realizado

O resultado obtido está apresentado na Tabela a seguir.

id	Furo	Material	Profundidade	Coeficiente Permeabilidade médio á 20°C (cm/s)
1	ST-01 - AM 01	ARGILA SILTOSA ARENOSA AMARELA	0,5m A 2,5m	4,7E-05
2	ST-01 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR ROSA	2,5 m A 4,0 m	4,4E-05
3	ST-01 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	2,8E-05
4	ST-02 - AM 01	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHO	0,5 m A 2,5 m	1,8E-05
5	ST-02 - AM 02	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELO CLARO	2,5 m A 4,0 m	4,5E-05

6	ST-02 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	4,0 m A 5,0 m	7,7E-05
7	ST-03 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR MARROM	2,5 m A 3,5 m	2,1E-05
8	ST-03 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR ROSA	3,5 m A 5,0 m	2,6E-05
9	ST-03 - AM 04	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	3,1E-05
10	ST-04 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR MARROM	0,5 m A 1,5 m	2,6E-05
11	ST-04 - AM 02	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	1,5 m A 3,0 m	1,6E-04
12	ST-04 - AM 03	AREIA SILTOSA COM ALTERAÇÃO DE ROCHA	3,0 m A 4,8 m	1,6E-04
13	ST-05 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,5 m	1,6E-05
14	ST-05 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,5 m A 4,0 m	5,2E-05
15	ST-05 - AM 03	SILTE ARENOSO VERMELHO	4,0 m A 5,3 m	5,7E-05
16	ST-05 - AM 04	SILTE ARGILOSO DE COR VERMELHA	5,3 m A 6,0 m	3,0E-05
17	ST-06 - AM 01	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 1,4 m	6,6E-05
18	ST-06 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,4 m A 3,5 m	1,9E-05
19	ST-06 - AM 03	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHO ESCURO	3,5 m A 5,0 m	2,1E-05
20	ST-06 - AM 04	AREIA ARGILOSA VERMELHA	5,0 m A 6,0 m	1,1E-04
21	ST-07 - AM 01	ARGILA SILTOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 2,5 m	3,8E-05
22	ST-08 - AM 01	SILTE ARENOSO MARROM	0,5 m A 2,5 m	5,7E-05
23	ST-08 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,3 m	9,3E-05
24	ST-09 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	6,4E-05
25	ST-09 - AM 02	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 3,0 m	7,1E-05
26	ST-10 - AM 01	ARGILA ARENOSA DE COR VERMELHA	0,5 m A 2,5 m	7,4E-05
27	ST-10 - AM 02	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,5 m A 4,0 m	2,5E-05
28	ST-10 - AM 03	SILTE ARENOSO DE COR VERMELHO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	3,5E-05
29	ST-16 - AM 01	AREIA ARGILOSA DE COR AMARELA	0,5 m A 1,0 m	6,3E-05
30	ST-16 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR AMARELA	1,0 m A 6,0 m	4,3E-05
31	ST-17 - AM 01	SILTE ARENOSO VERMELHO	0,3 m A 1,0 m	6,8E-05
32	ST-17 - AM 02	ARGILA SILTOSA ARENOSA DE COR VERMELHA	1,0 m A 3,0 m	3,3E-05
33	ST-17 - AM 04	ARGILA SILTOSA DE COR VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	3,2E-05
34	ST-18 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,0 m A 2,0 m	4,2E-05
35	ST-18 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELO ESCURO	4,0 m A 6,0 m	4,5E-05
36	ST-19 - AM 01	SILTE ARENOSO DE COR ROSA	0,0 m A 2,0 m	1,1E-04
37	ST-19 - AM 02	ARGILA ARENOSA AMARELA	2,0 m A 4,0 m	3,9E-05
38	ST-19 - AM 03	ARGILA ARENOSA AMARELA	4,0 m A 6,0 m	4,2E-05
39	ST-20 - AM 01	ARGILA ARENOSA AMARELA	0,5 m A 2,0 m	4,3E-05

40	ST-20 - AM 02	AREIA SILTOSA DE COR VERMELHA	2,0 m A 4,0 m	4,6E-05
41	ST-20 - AM 03	ARGILA ARENOSA VERMELHA	4,0 m A 6,0 m	2,7E-05

Os resultados de permeabilidade de carga variável mostraram-se relativamente “altos”, não representativos das características coesivas de solos Silte-argilosos apresentadas nos ensaios de granulometria, Limites de Liquidez e Índice de Plasticidade, onde a expectativa de resultado estaria entre 10^{-5} cm/s a 10^{-6} cm/s, contudo, as permeabilidades deverão apresentar uma diminuição após compactados e atendem plenamente as condições de construção como material de vedação das ensecadeiras, pré-ensecadeiras, núcleo e nos espaldares da barragem.

3. VERTEDOURO

Para o vertedouro foi realizada a coleta de 2 blocos indeformados e amostras coletadas por Denison.

Nas amostras indeformadas de blocos foram realizados os seguintes ensaios de laboratório:

- Ensaio de caracterização completa: Granulometria (peneiramento e sedimentação), Limites de Atterberg (LL e LP); Umidade Natural (h %), Peso Específico dos Grãos (δ), Peso Específico Natural (γn) e índice de vazios (e);
- Ensaio de cisalhamento direto abrangendo 4 corpos de prova por ensaio com tensões confinantes de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0kgf/cm²;
- Ensaio de compressão triaxial CID (Consolidado Isotrópico Drenado) com tensões de confinamento de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0kgf/cm², ou seja, 4 ensaios por bloco, totalizando 12 ensaios;
- Ensaio de permeabilidade (a tipologia do ensaio, carga constante ou variável, deverá ser confirmada a partir da análise tátil visual do material encontrado na área).

Nas amostras retiradas através do amostrador tipo Denison estão previstos os seguintes ensaios em amostras selecionadas, nem todas as amostras serão ensaiadas.

- Ensaio de cisalhamento direto abrangendo 4 corpos de prova por ensaio com tensões confinantes de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0kgf/cm²;
- Ensaio de compressão triaxial CID (Consolidado Isotrópico Drenado) com tensões de confinamento de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0kgf/cm², ou seja, 4 ensaios por bloco, totalizando 12 ensaios.
- Ensaio de permeabilidade (a tipologia do ensaio, carga constante ou variável, deverá ser confirmada a partir da análise tátil visual do material encontrado na área).

3.1. LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas na área de implantação do vertedouro. Na Tabela a seguir estão apresentadas informações sobre cada coleta realizada.

Tabela 16 – Dados das amostras da área do vertedouro

Amostra	Profundidade (m)	N	E	Cota	Data
BL-01	1,5	7.746.385,570	336.406,719	120,074	14/08/20
BL-02	1,5	7.746.408,995	336.398,818	123,320	14/08/20
DN-01	10,0 - 11,0	7.746.374,849	336.410,508	120,345	10/08/20

DN-01	15,0 - 16,0	7.746.374,849	336.410,508	120,345	10/08/20
DN-02	5,0 - 6,0	7.746.398,261	336.402,493	121,558	11/08/20

A Figura a seguir apresenta a locação das amostras utilizadas nos ensaios.

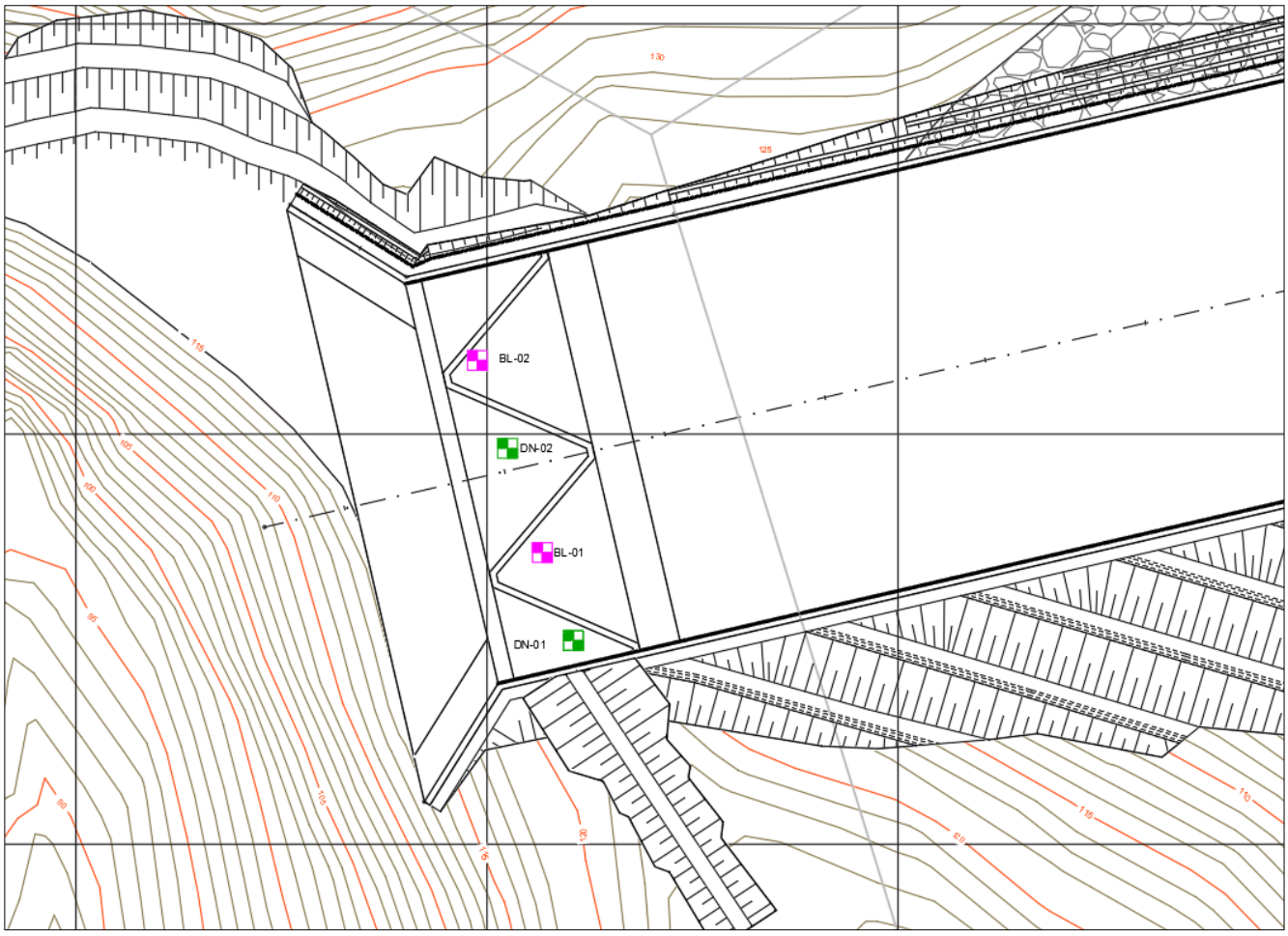


Figura 7 – Planta com a locação das amostras – vertedouro

3.2. RESULTADO DOS ENSAIOS

Os principais resultados obtidos para o solo da área do vertedouro estão apresentados nos itens a seguir.

3.2.1. CARACTERIZAÇÃO

O solo da região do vertedouro é composto principalmente por solo areno-siltoso e areno-argiloso com predominância de areia em todas as amostras analisadas.

A massa específica dos sólidos é da ordem de 2,72 t/m³.

A Tabela a seguir sumariza os resultados obtidos através da análise granulométrica efetuada nas amostras de solo.

Amostra	Profundidade (m)	Massa específica (kg/m³)	% Argila	% Silte	% Areia Fina	% Areia Média	% Areia Grossa	% Pedregulho
BL-01	1,5	2.715	23	16	11	29	16	5
BL-02	1,5	2.719	29	21	15	26	6	3
DN-01	10,0 - 11,0	2.741	6	36	19	32	6	1
DN-01	15,0 - 16,0	2.722	8	31	30	21	7	3
DN-02	5,0 - 6,0	2.692	9	34	14	26	13	4

A massa específica real dos grãos obtida está apresentada na Tabela a seguir.

Amostra	Profundidade	massa esp. kg/m³
DN-01	10,0 - 11,0	2.741
DN-01	15,0 - 16,0	2.722
DN-02	5,0 - 6,0	2.692
BL-01	1,5	2.715
BL-02	1,5	2.719

Foram determinadas a massa específica natural e umidade natural do solo, apresentados na Tabela a seguir.

Amostra	kg/m³	Umidade
BL-01	1.714	12,7%
BL-02	1.689	17,6%

A média da massa específica natural obtida é de 1,70t/m³.

O resultado dos limites de Atterberg estão apresentados na Tabela a seguir.

Amostra	Profundidade	LL	LP	IP
DN-01	10,0 - 11,0	NP	NP	NP
DN-01	15,0 - 16,0	NP	NP	NP
DN-02	5,0 - 6,0	39,6%	25,0%	14,6%
BL-01	1,5	47,7%	25,5%	22,2%

BL-02	1,5	52,9%	27,0%	25,9%

Como os solos apresentaram característica arenosa, em dois deles não foi possível observar características plásticas.

3.2.2. COMPACTAÇÃO

O resultado do ensaio de compactação está apresentado na Tabela a seguir.

Amostra	Umidade ótima (%)	Massa espec. aparente seca (kg/m³)
ST-03	16,8	1.732
ST-07+07A	19,1	1.663

3.2.3. PERMEABILIDADE

Foram realizados ensaios de permeabilidade com carga variável cujos resultados estão apresentados na Tabela a seguir.

Amostra	k (cm/s)
BL-01	1,30E-03
BL-02	9,10E-04
DN-02	4,90E-06

As amostras dos blocos apresentam permeabilidade próxima, valo médio de 1,11E-03. A amostra do denison apresentou menor permeabilidade.

3.2.4. CISALHAMENTO DIRETO

Os resultados obtidos dos ensaios de cisalhamento direto estão resumidos na Tabela a seguir.

		Tensão confinante	Tensão Normal	Tensão Cisalhante
BL-01	CP-1	50	57	32
	CP-2	100	122	69
	CP-3	200	245	135
	CP-4	300	387	209
BL-02	CP-1	50	56	36

	CP-2	100	113	75
	CP-3	200	230	157
	CP-4	300	338	216

Ajustando os valores de tensão normal e tensão confinante para a ruptura foram obtidos os seguintes valores para coesão e ângulo de atrito.

Amostra	Tipo	Coesão	Ângulo de atrito
BL-01	Adensado drenado inundado	1,5	28,4
BL-02	Adensado drenado inundado	1,3	33,0

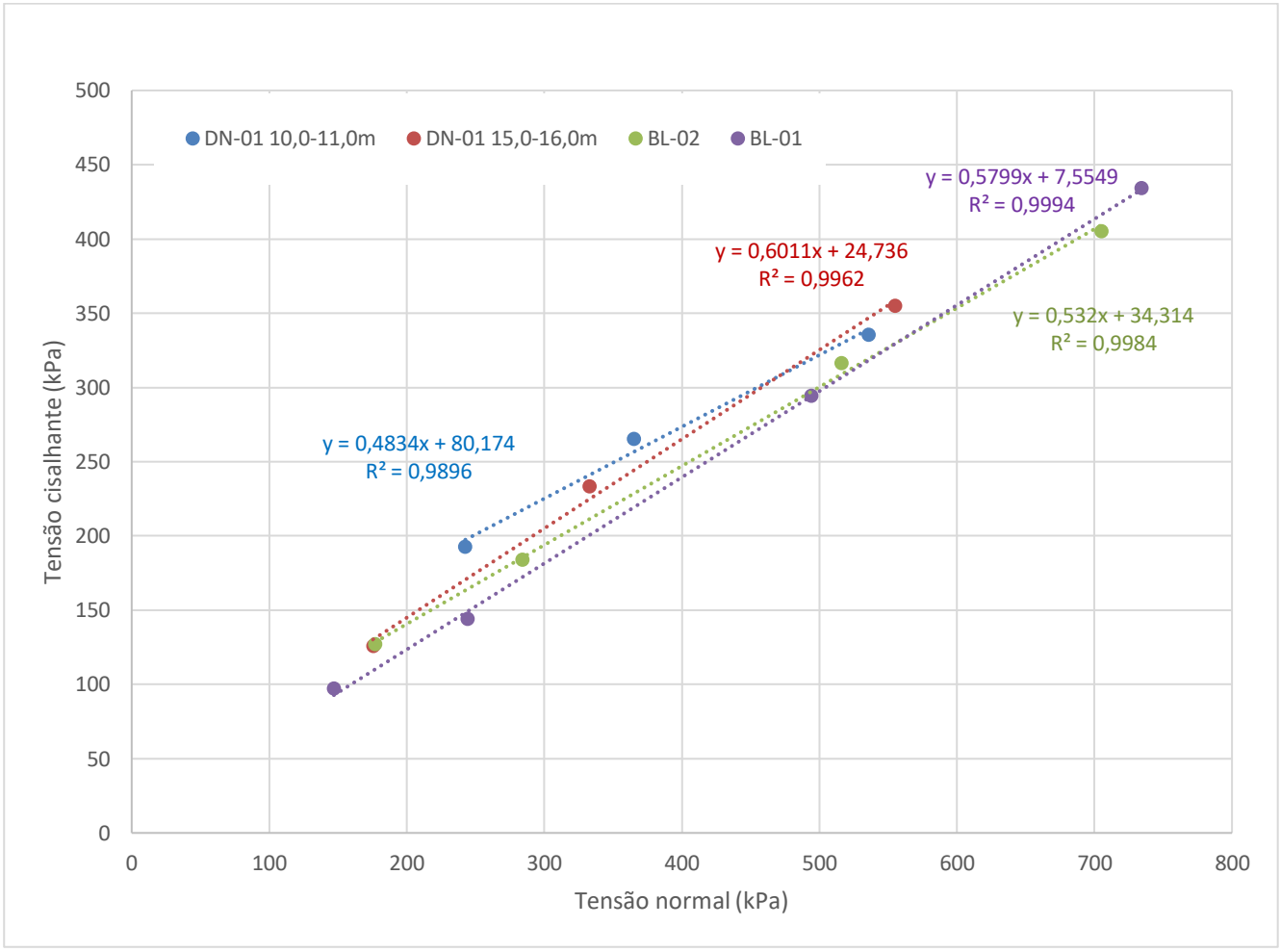
Os valores médios indicam uma coesão de 1,4kPa e ângulo de atrito de 30,7º para as amostras dos blocos, ou seja, a uma profundidade de 1,5m.

3.2.5. COMPRESSÃO TRIAXIAL

Os resultados obtidos dos ensaios de compressão triaxial estão resumidos na Tabela a seguir.

		σ_3	$\sigma_1 - \sigma_3$
DN-01 10,0-11,0m	CP-1	50	385
	CP-2	100	530
	CP-3	200	671
BL-02	CP-1	50	254
	CP-2	100	368
	CP-3	200	632
	CP-4	300	810
BL-01	CP-1	50	194
	CP-2	100	288
	CP-3	200	588
	CP-4	300	868
DN-01 15,0-16,0m	CP-1	50	251
	CP-2	100	466
	CP-3	200	710

Os resultados foram plotados no gráfico apresentado a seguir, sendo realizada uma regressão linear dos pontos através do Excel para obter a linha de tendência linear das séries.



Os resultados obtidos para coesão e ângulo de atrito estão apresentados na tabela a seguir.

Amostra	Profund.	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
DN-01	10,0 - 11,0	80	25,8
DN-01	15,0 - 16,0	25	31,0
BL-01	1,5	8	30,1
BL-02	1,5	34	28,0

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram apresentados os resultados dos ensaios geotécnicos realizados para caracterização do solo existente no empreendimento denominado por Barragem dos Imigrantes, Rio Jucu, no município de Domingos Martins – ES.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12770: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio, p. 4. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, p. 8. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de Liquidez, p. 5. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, p. 8. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, p. 12. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação, p. 5. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9813: Solo – Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. p. 5. 2016.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, ABEDA, 2006.

BUDHU, MUNI. Soil Mechanics and Foundations. 3rd Edition. Editora: John Wiley & Sons, 2011

DNIT – Manual de Pavimentação. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

MASSAD, FAIÇAL. Obras de Terra. 2ª edição. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

TECFIELD ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, Relatório de Ensaios de Caracterização nº001, 10 de abril de 2020, Iconha – ES.

6. ANEXOS

6.1. Curvas Granulométricas – Aterros

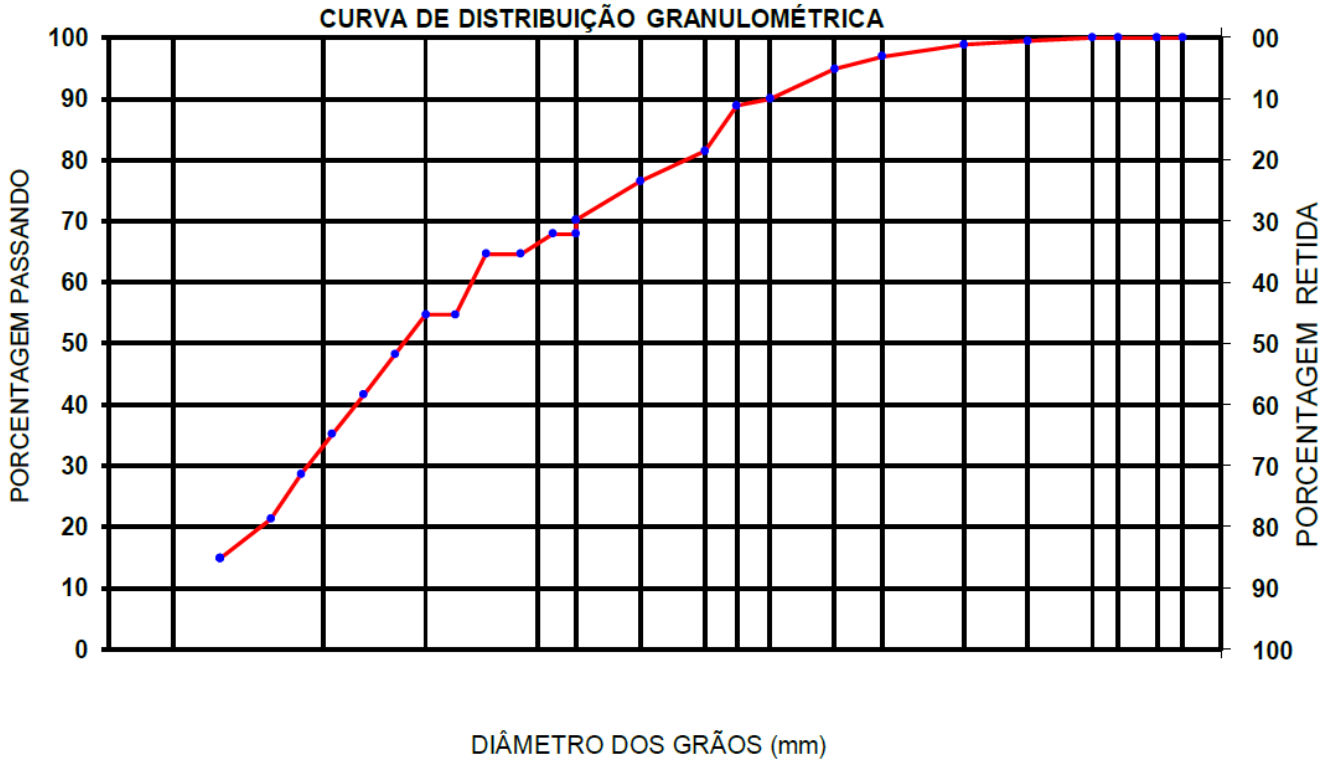


Figura 8 – Distribuição Granulométrica – ST-01-AM 01 – 0,5m A 2,5m

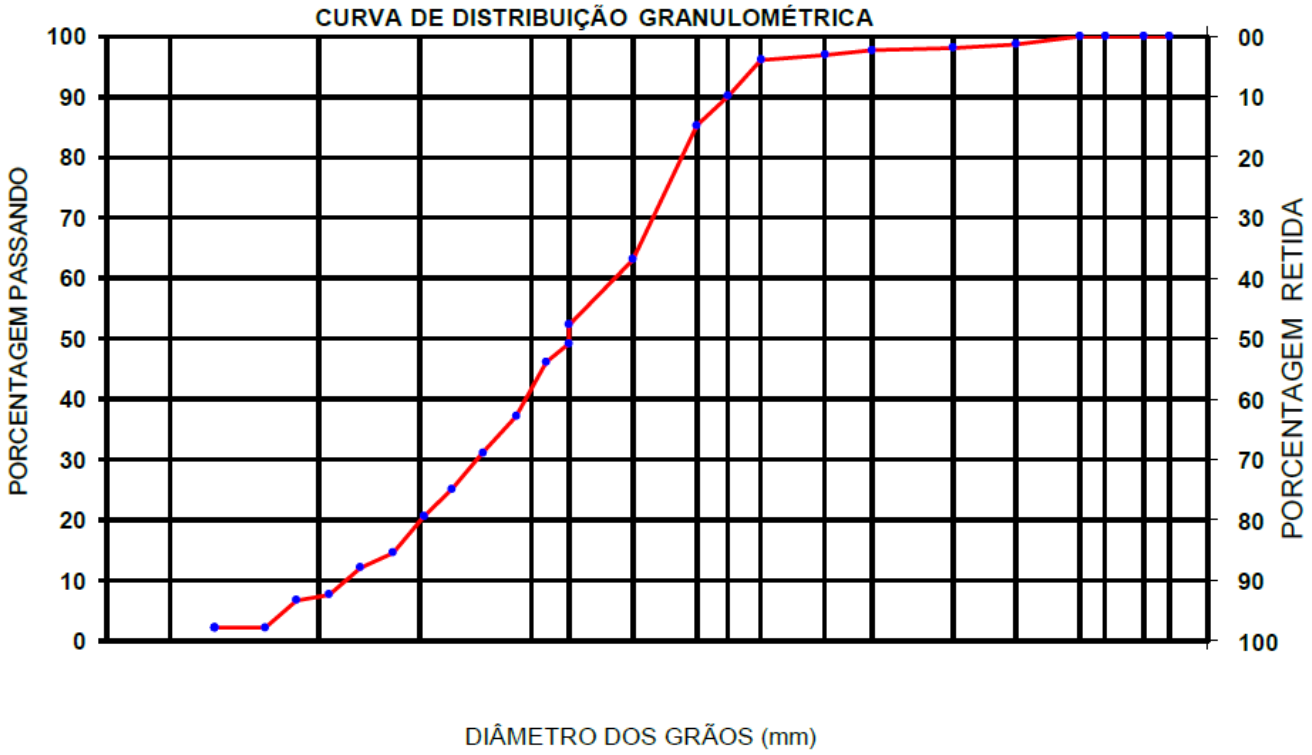


Figura 9 – Distribuição Granulométrica – ST-01-AM 02 – 2,5m A 4,0m

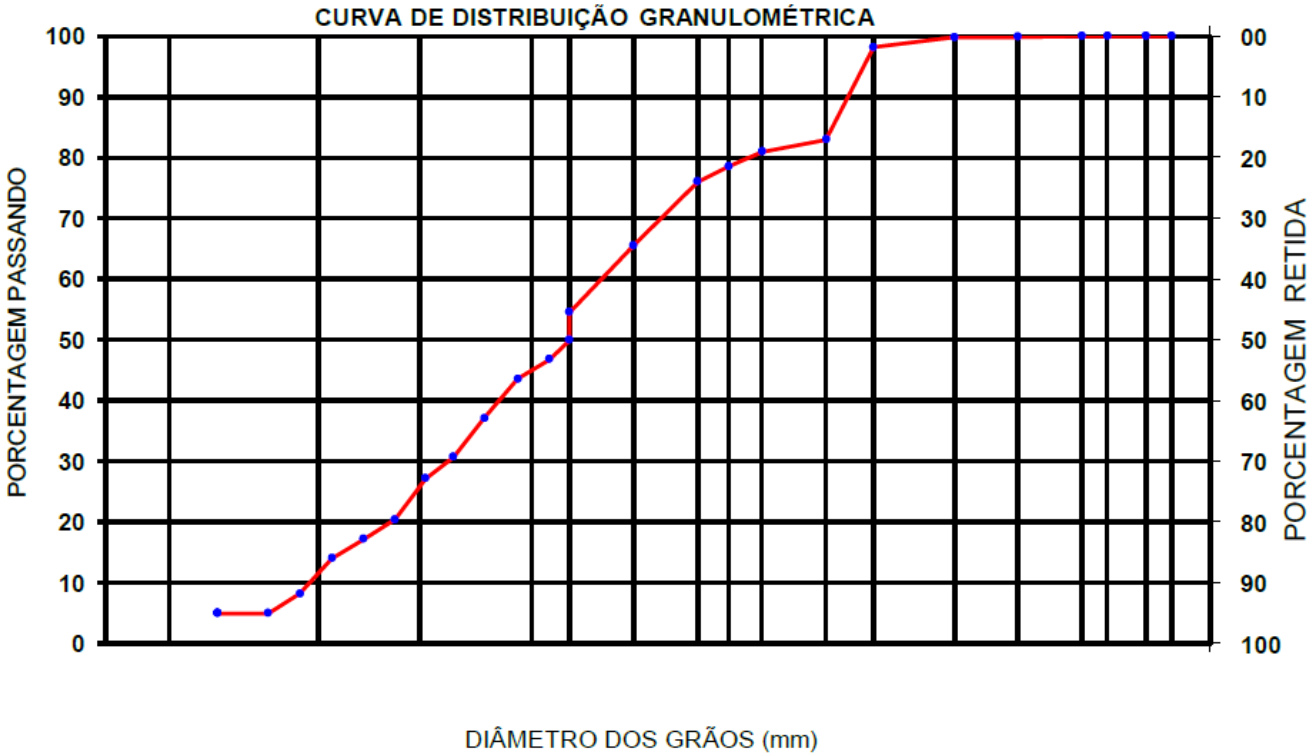


Figura 10 – Distribuição Granulométrica – ST-01-AM 03 – 4,0m A 5,0m

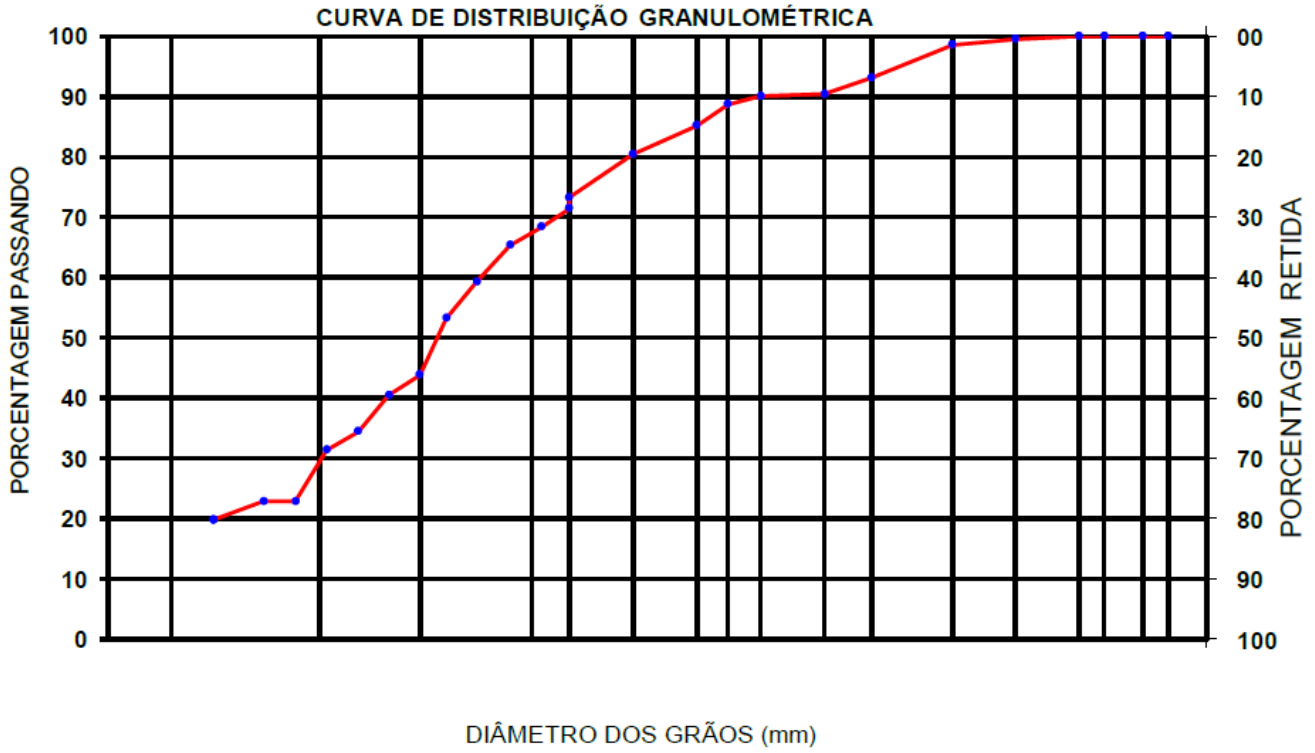


Figura 11 – Distribuição Granulométrica – ST-02-AM 01 – 0,5m A 2,5m

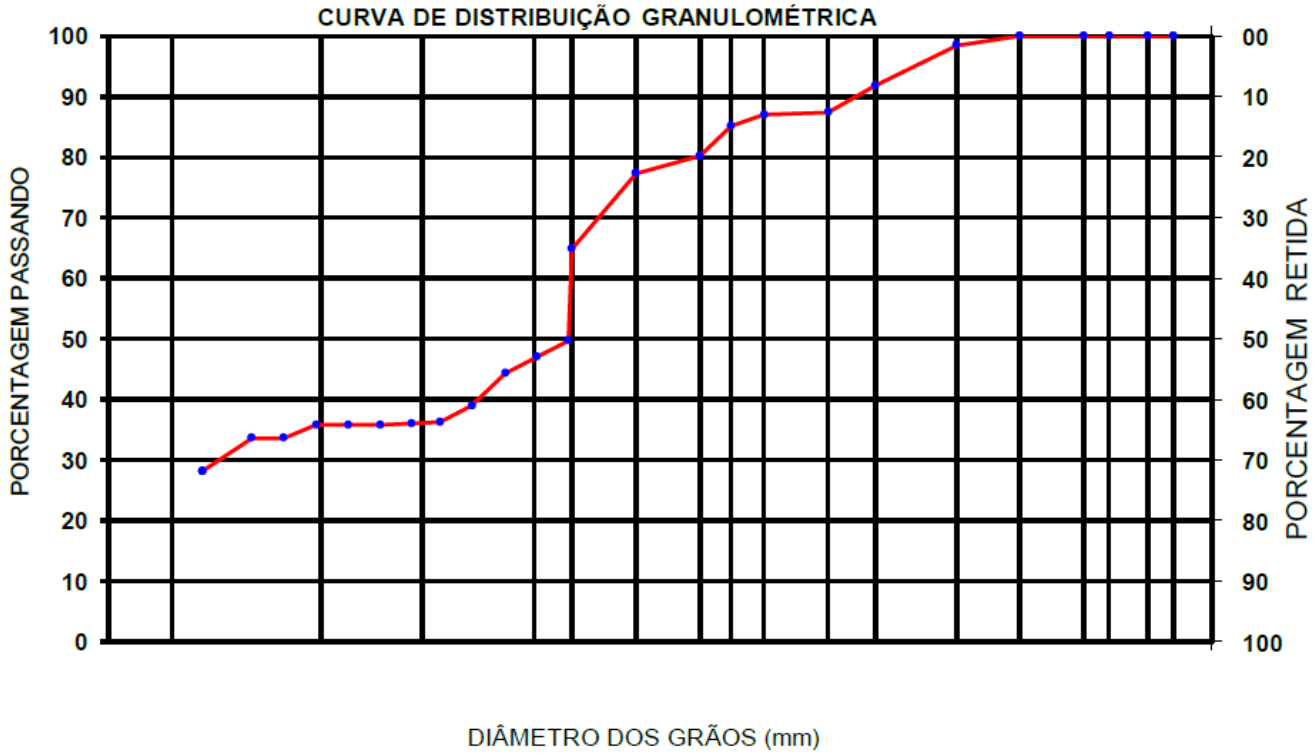


Figura 12 – Distribuição Granulométrica – ST-02-AM 02 – 2,5m A 4,0m

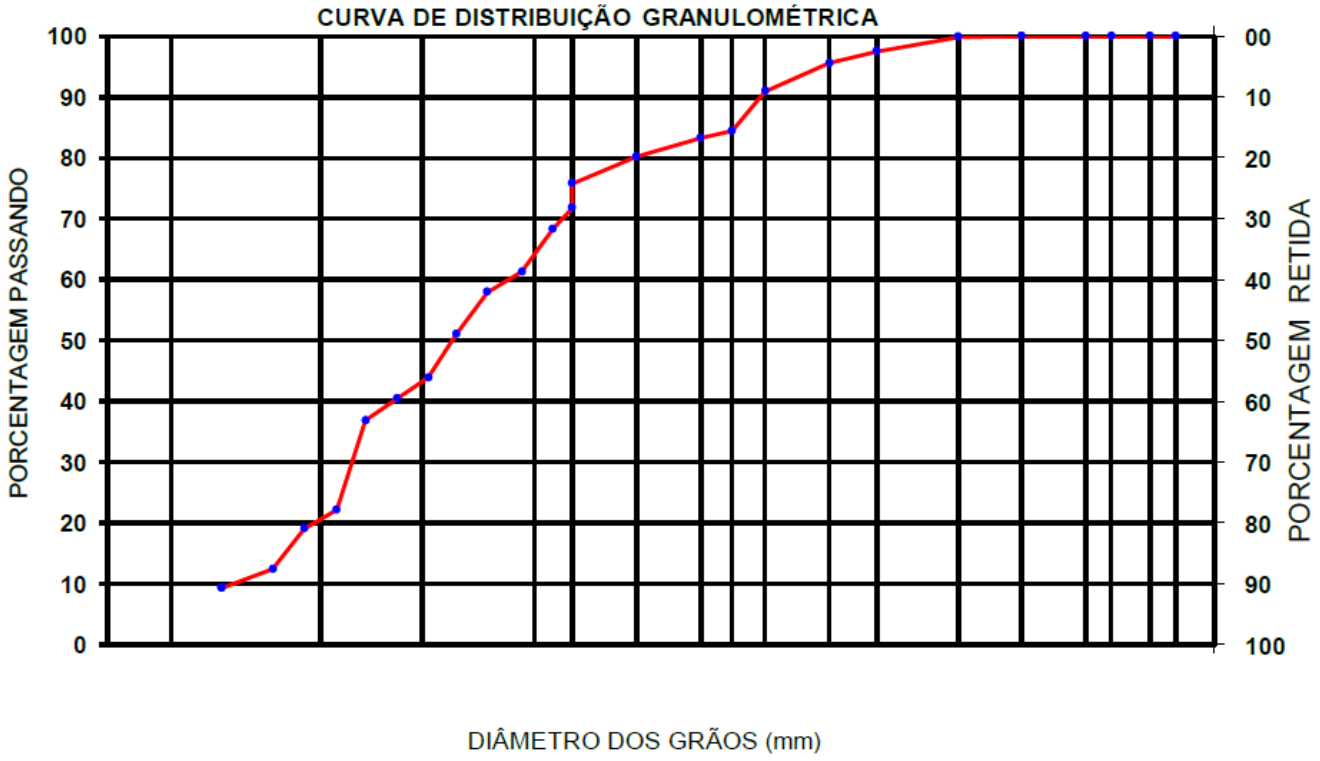


Figura 13 – Distribuição Granulométrica – ST-02-AM 03 – 4,0m A 5,0m

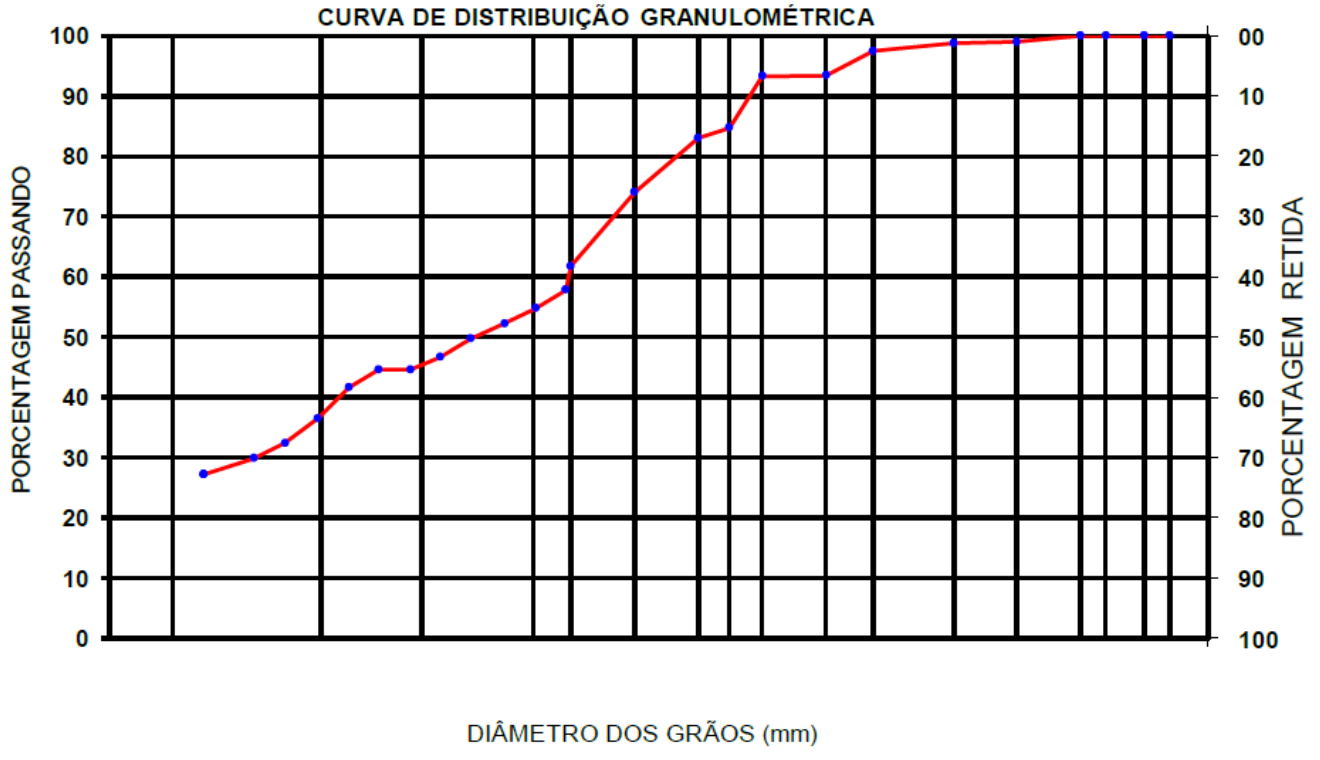


Figura 14 – Distribuição Granulométrica – ST-03-AM 02 – 2,5m A 3,5m



Figura 15 – Distribuição Granulométrica – ST-03-AM 03 – 3,5m A 5,0m

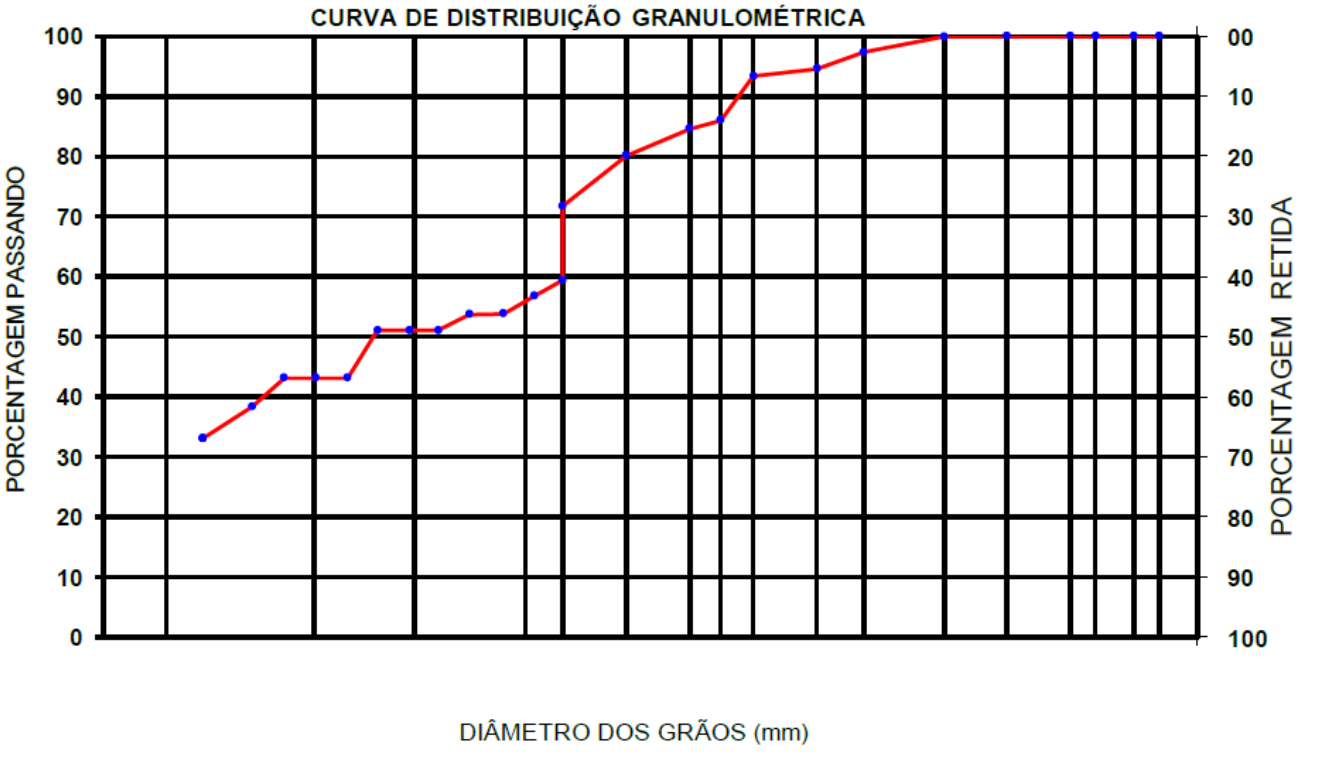


Figura 16 – Distribuição Granulométrica – ST-03-AM 04 – 5,0m A 6,0m

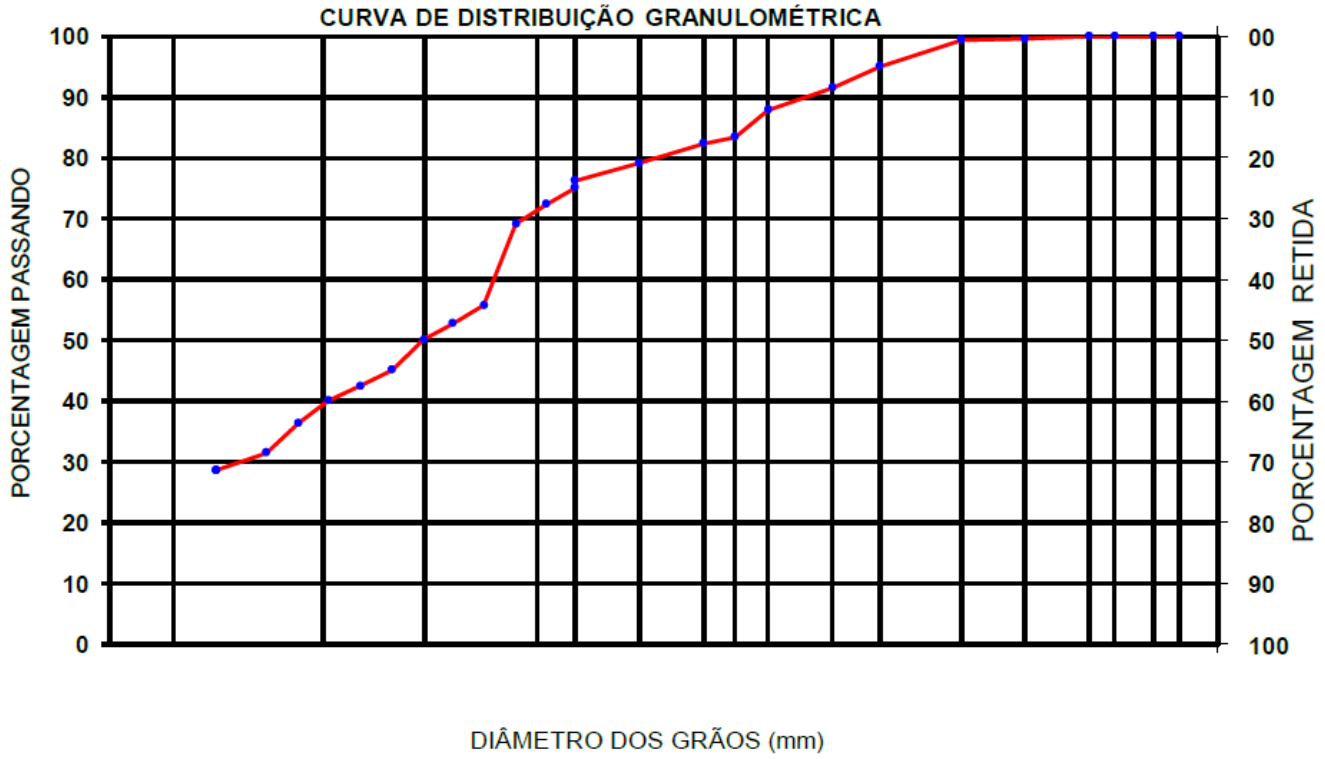


Figura 17 – Distribuição Granulométrica – ST-04-AM 01 – 0,5m A 1,5m

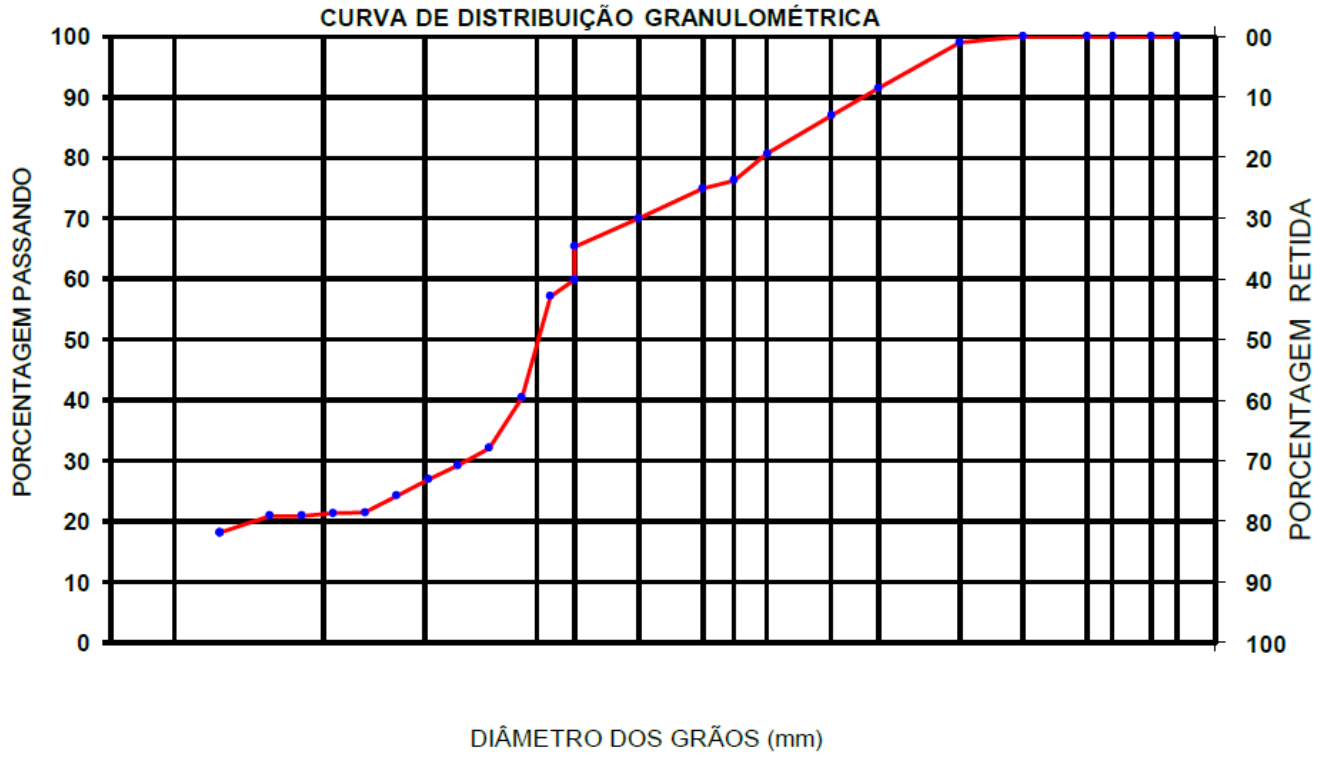


Figura 18 – Distribuição Granulométrica – ST-04-AM 02 – 1,5m A 3,0m

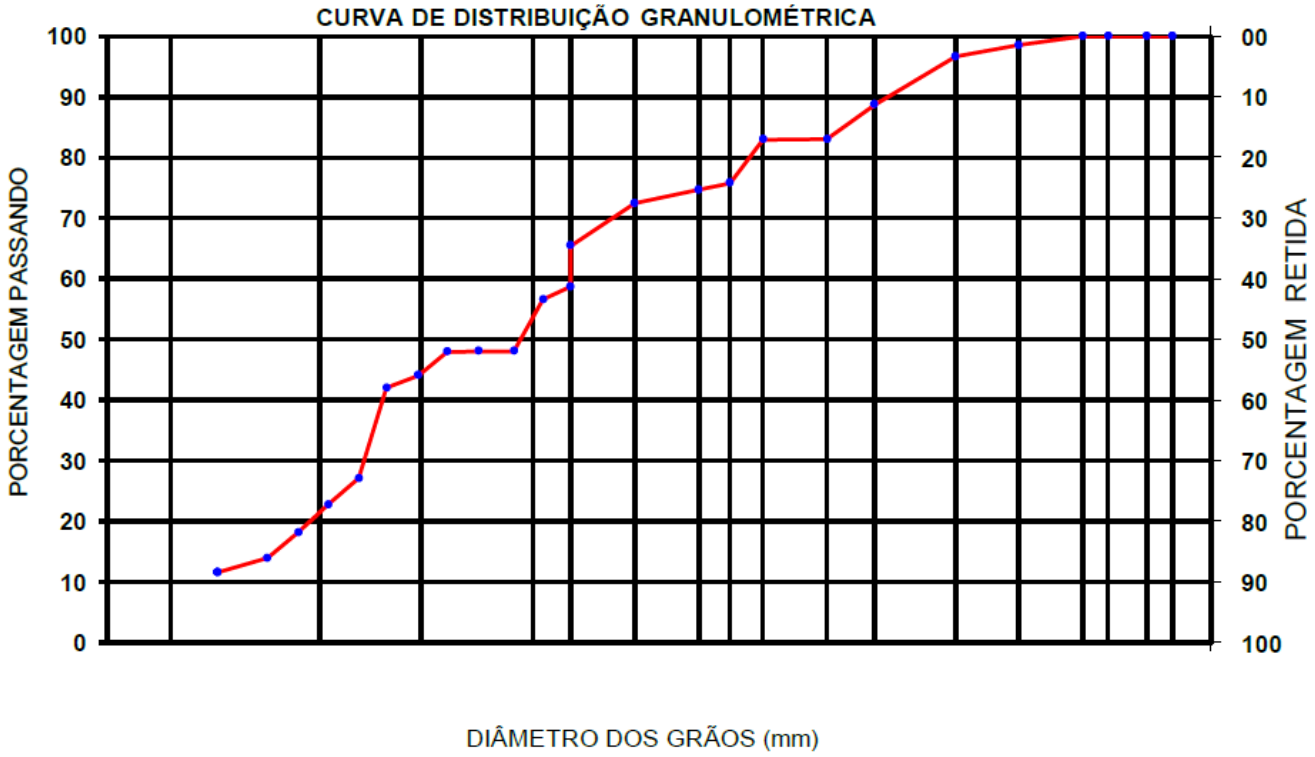


Figura 19 – Distribuição Granulométrica – ST-04-AM 03 – 3,0m A 4,8m

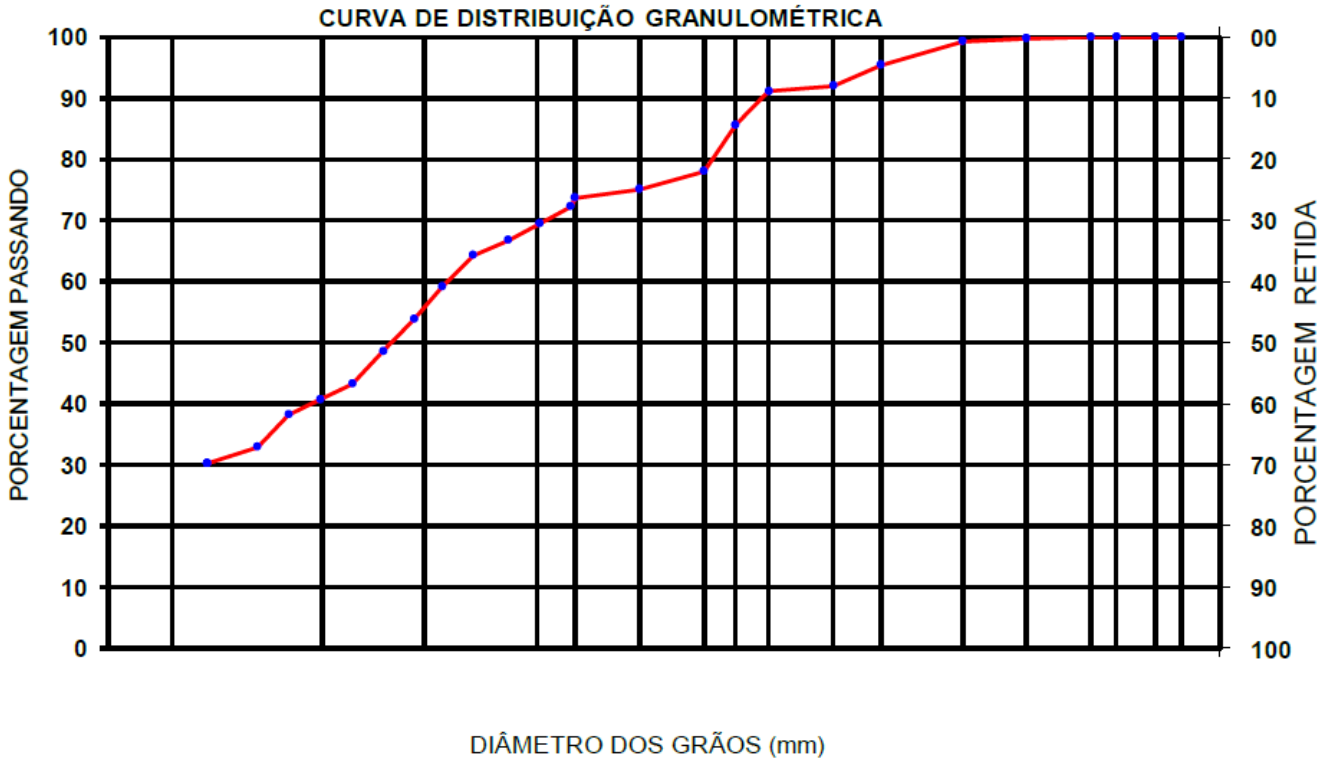


Figura 20 – Distribuição Granulométrica – ST-05-AM 01 – 0,5m A 1,5m

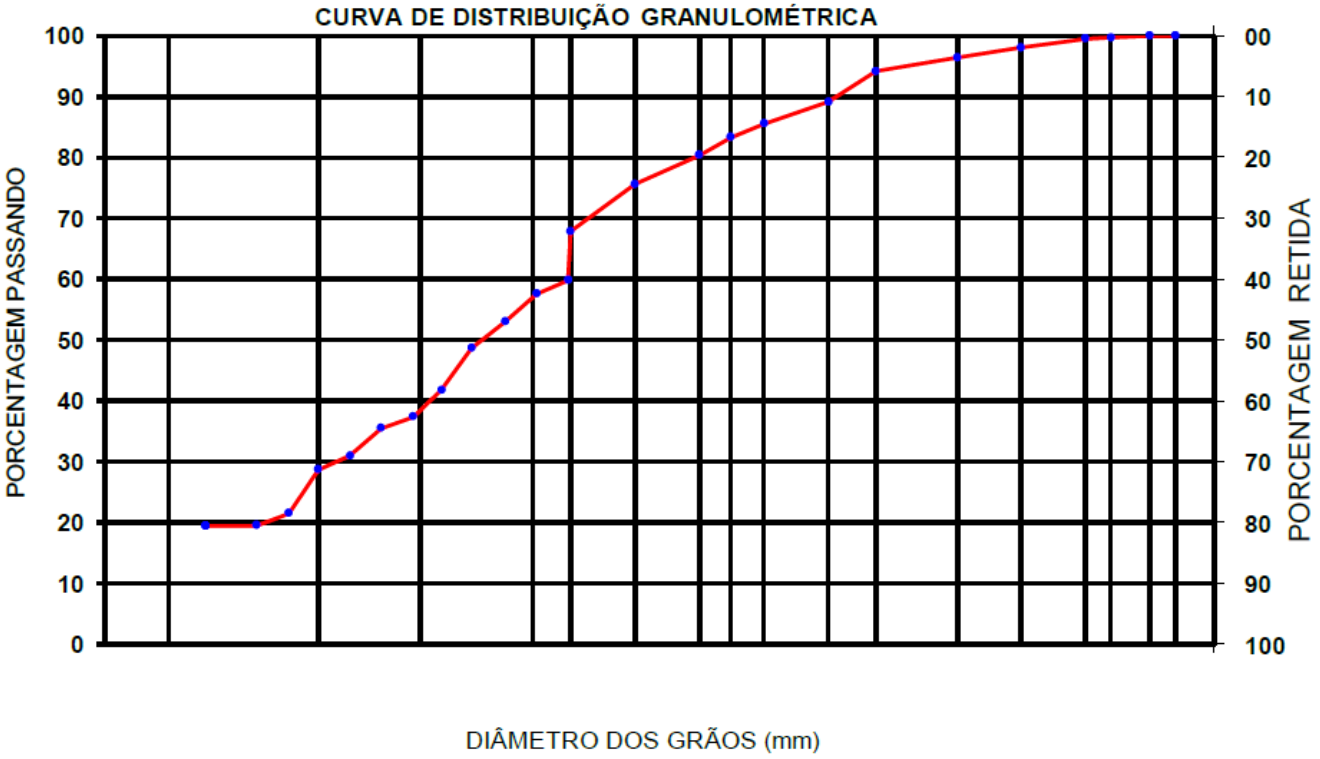


Figura 21 – Distribuição Granulométrica – ST-05-AM 02 – 1,5m A 4,0m

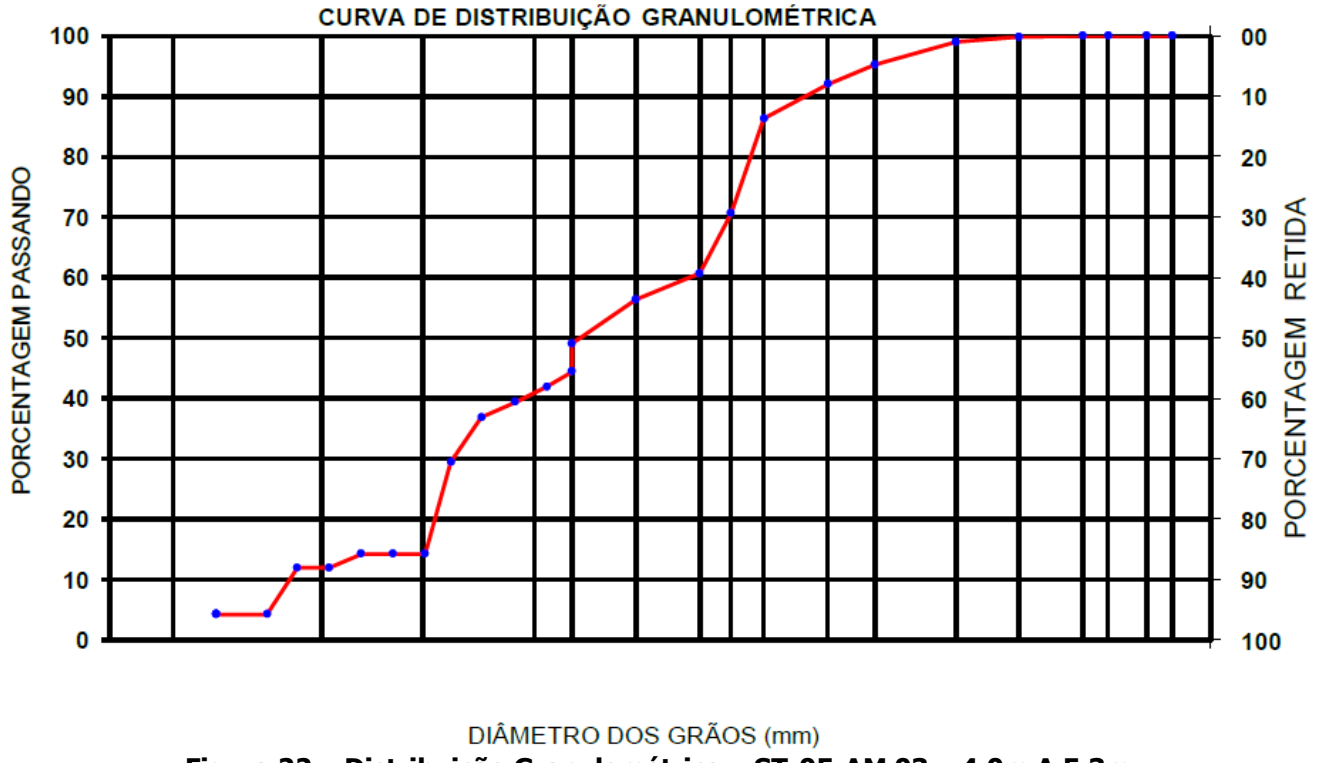


Figura 22 – Distribuição Granulométrica – ST-05-AM 03 – 4,0m A 5,3m

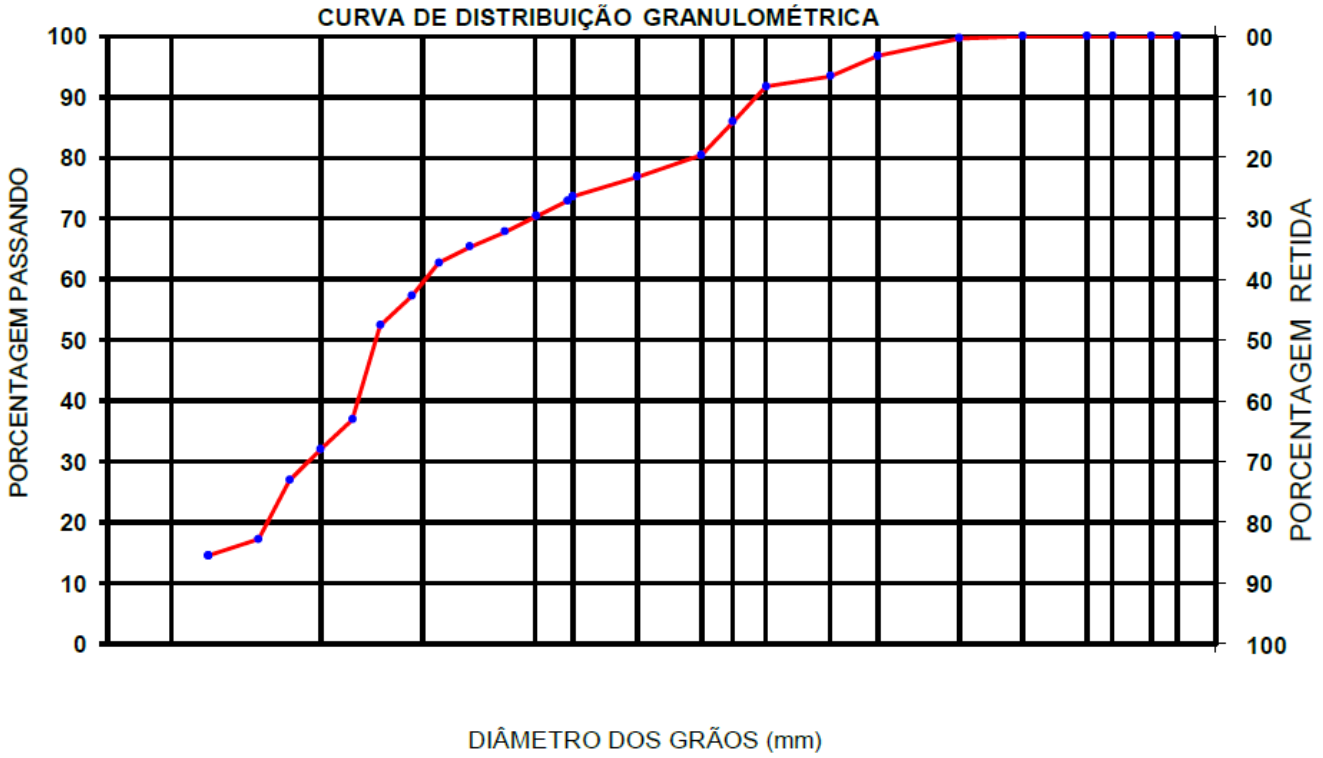


Figura 23 – Distribuição Granulométrica – ST-05-AM 04 – 5,3m A 6,0m

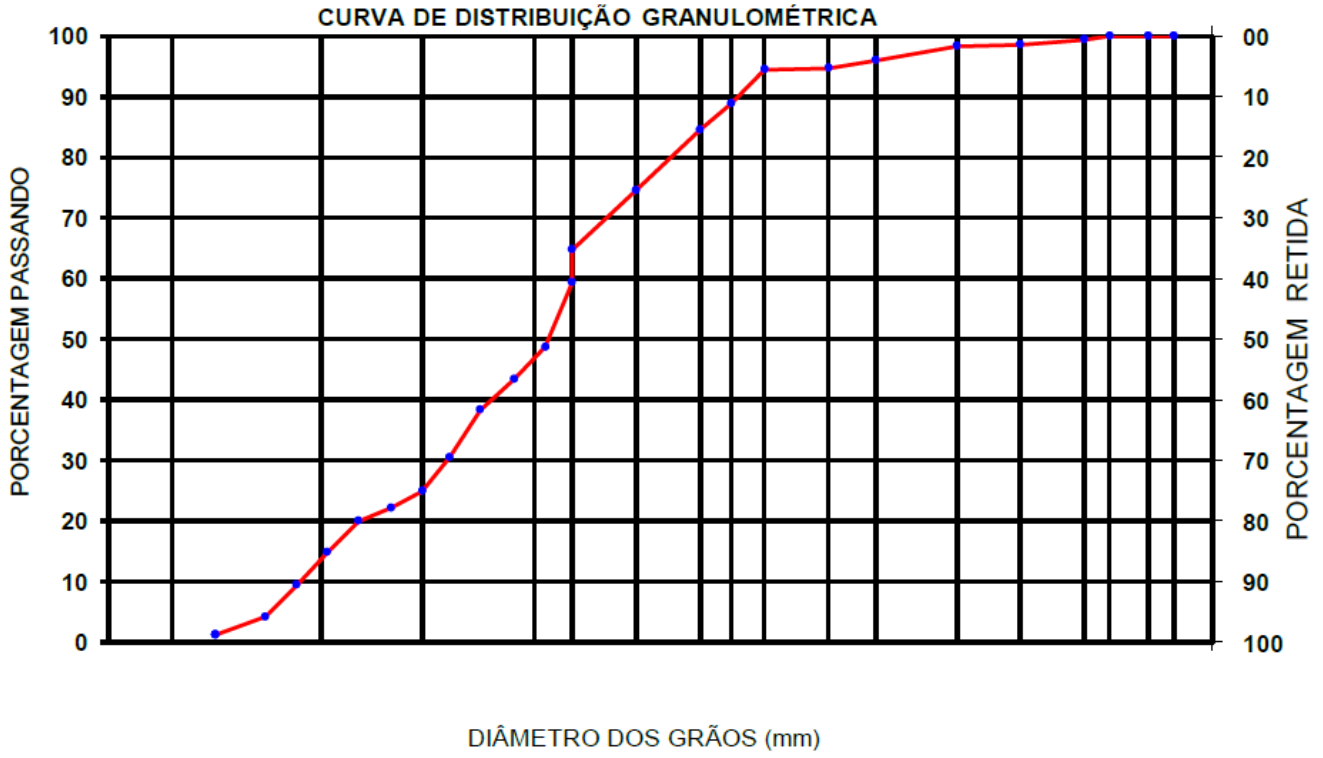


Figura 24 – Distribuição Granulométrica – ST-06-AM 01 – 0,5m A 1,4m

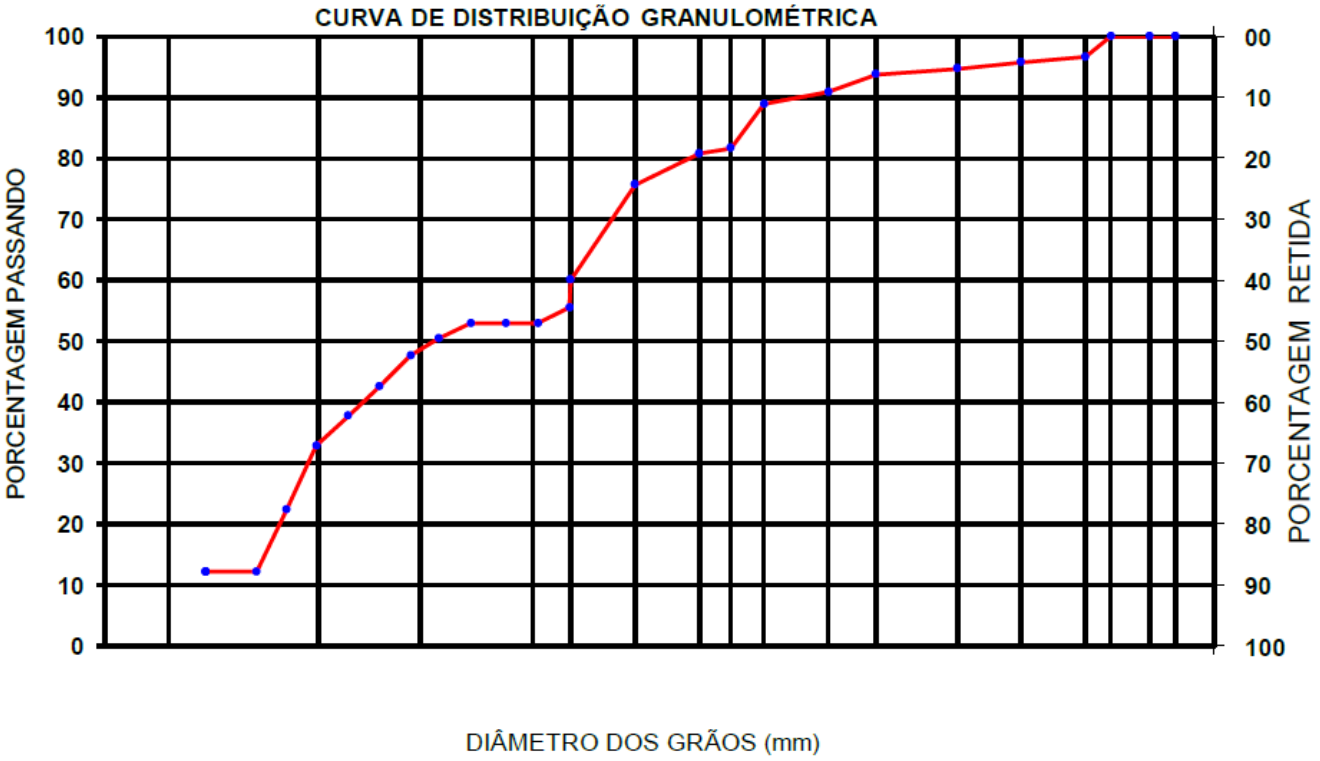


Figura 25 – Distribuição Granulométrica – ST-06-AM 02 – 1,4m A 3,5m

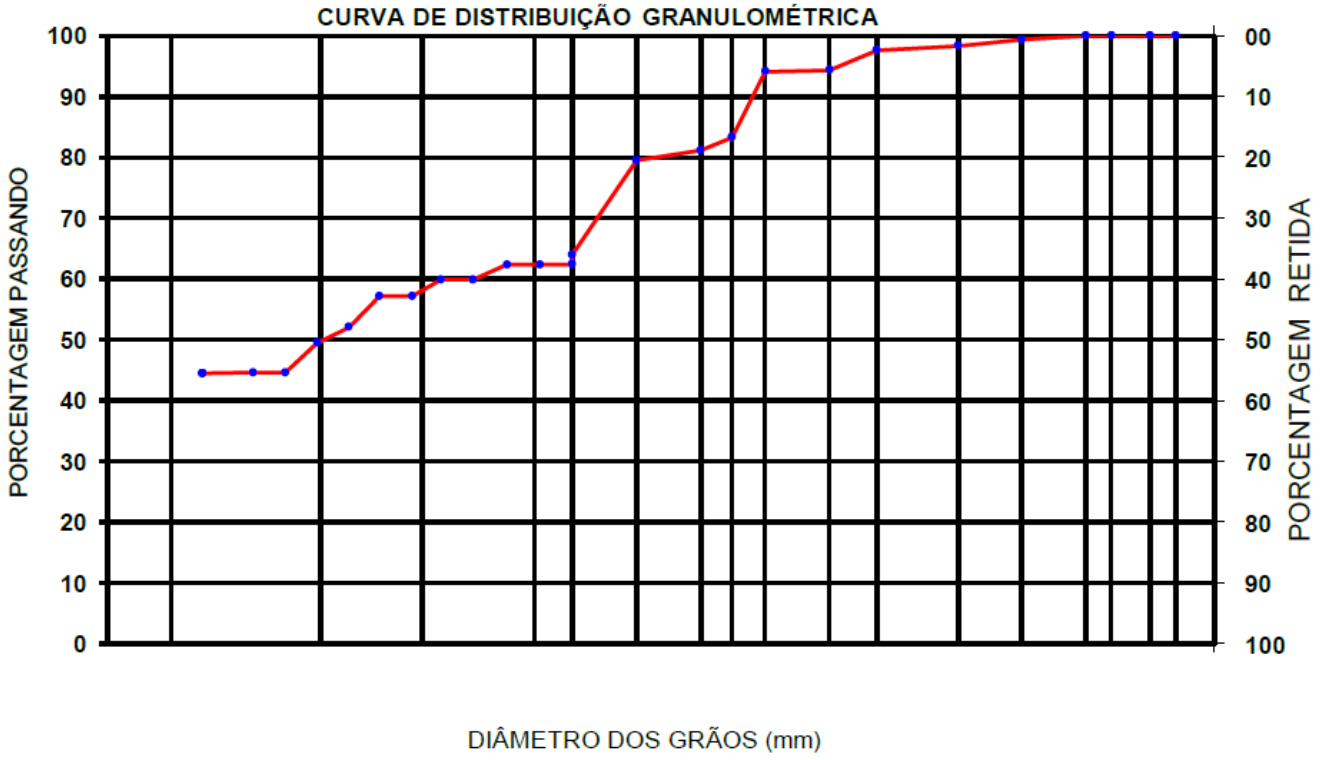


Figura 26 – Distribuição Granulométrica – ST-06-AM 03 – 3,5m A 5,0m

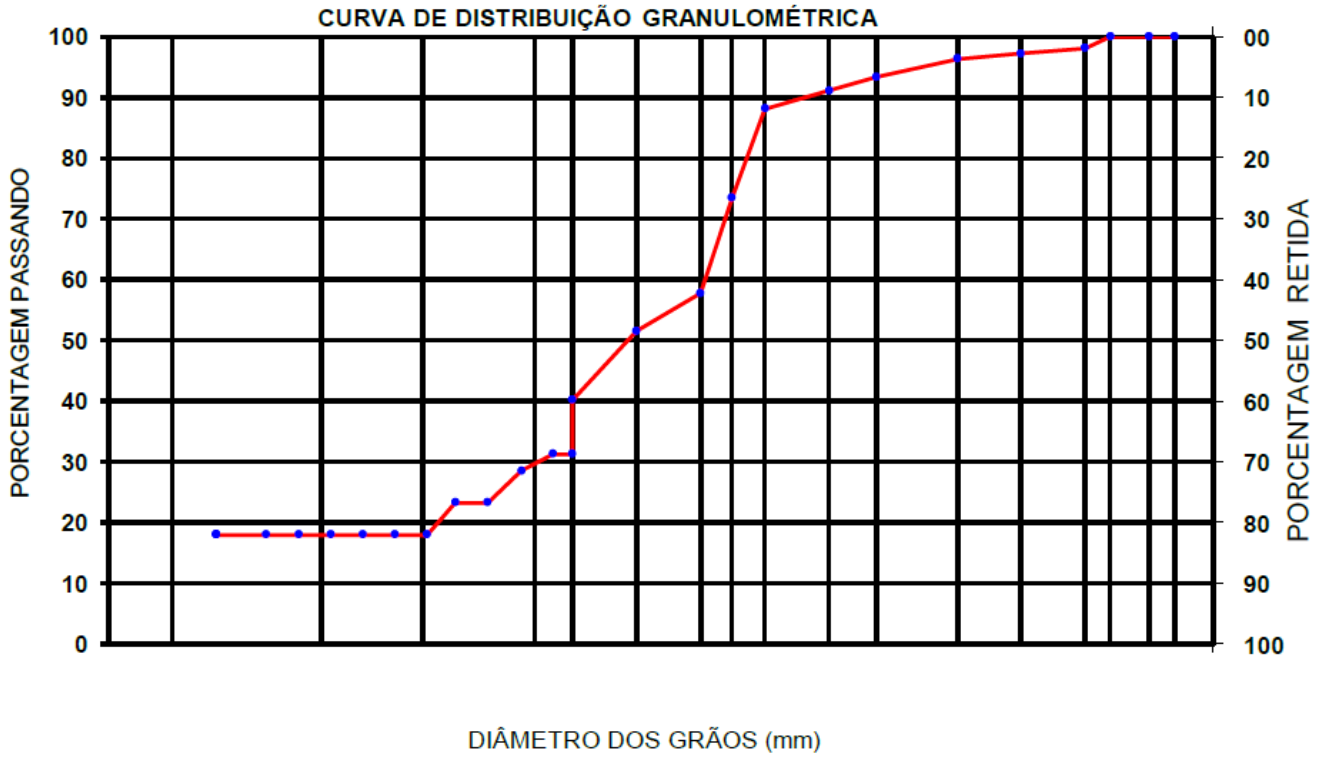


Figura 27 – Distribuição Granulométrica – ST-06-AM 04 – 5,0m A 6,0m

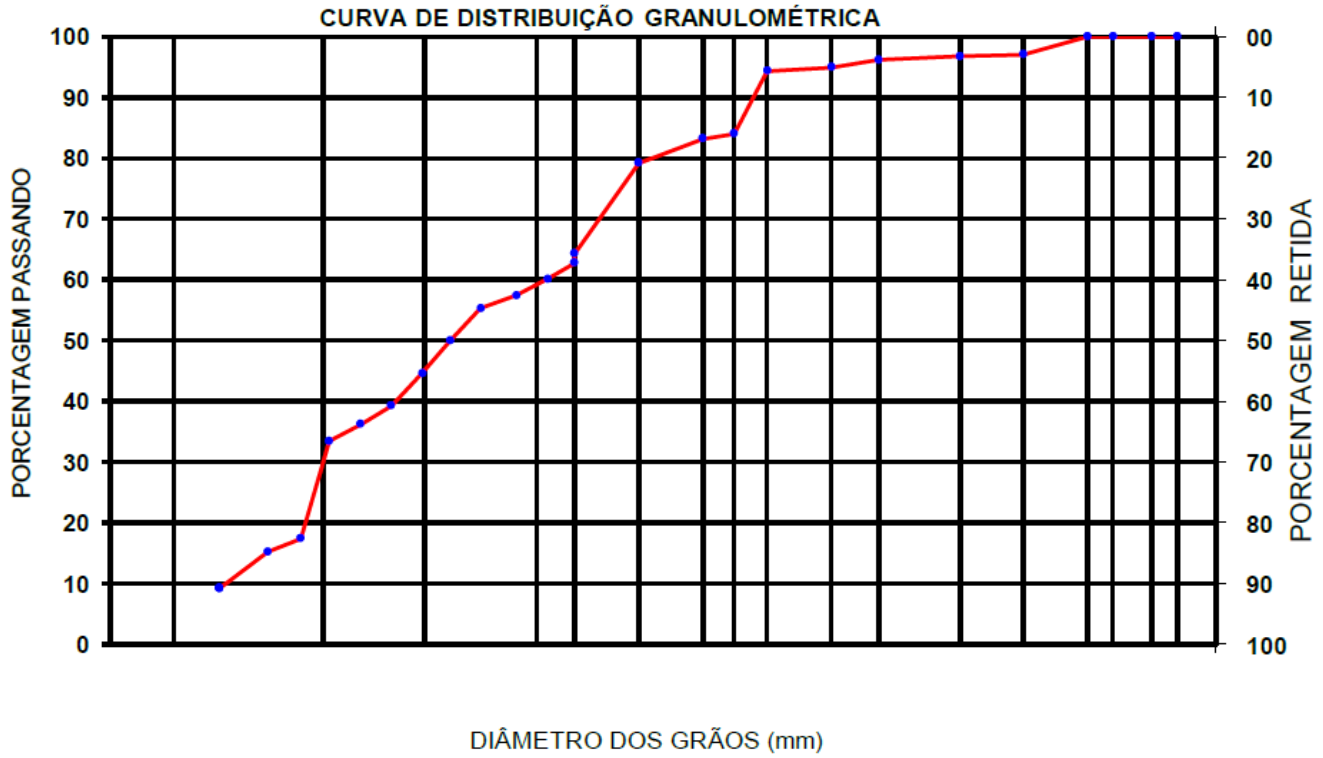


Figura 28 – Distribuição Granulométrica – ST-07-AM 01 – 0,5m A 2,5m

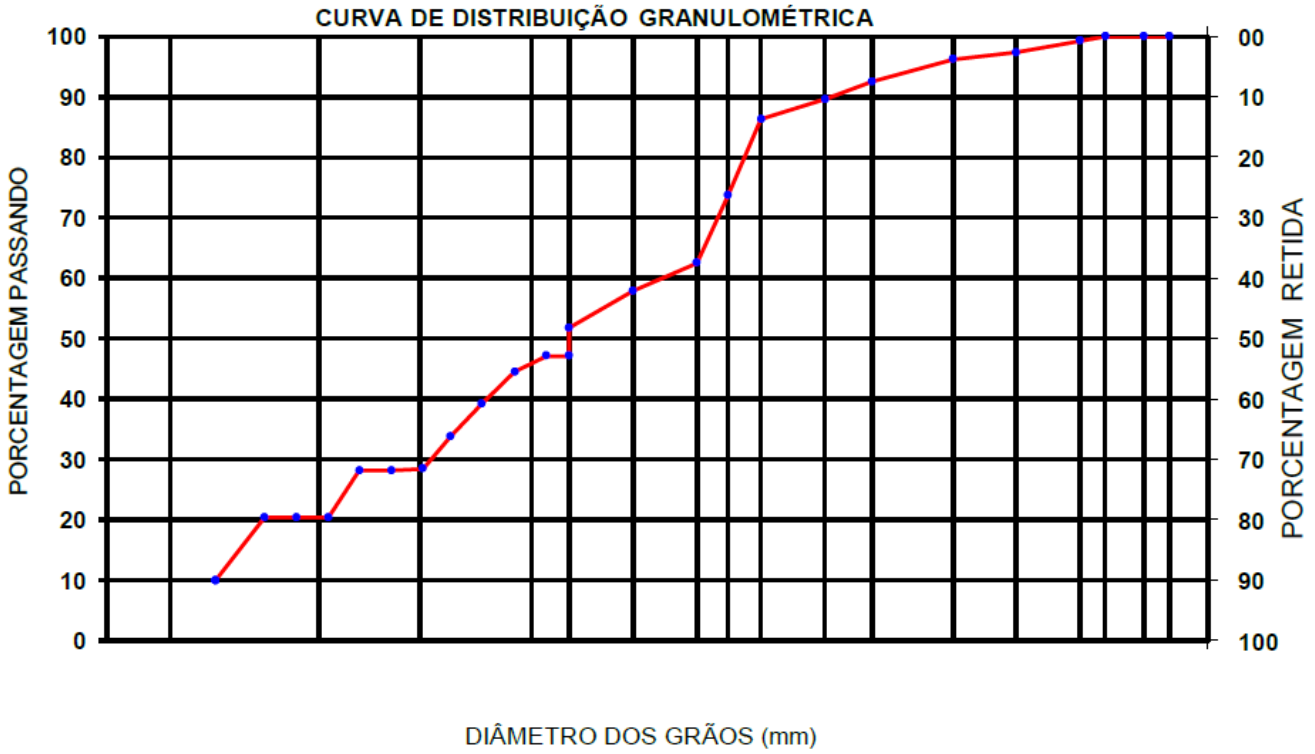


Figura 29 – Distribuição Granulométrica – ST-08-AM 01 – 0,5m A 2,5m

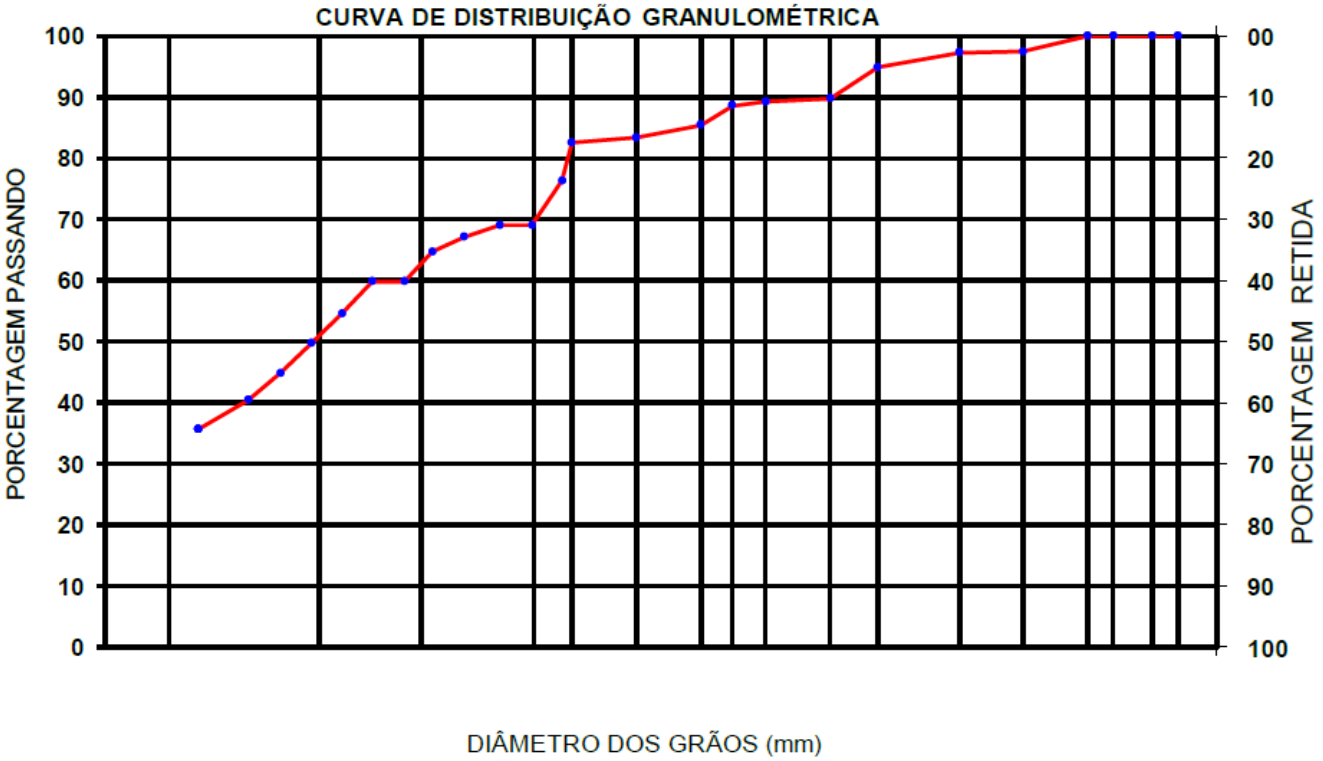


Figura 30 – Distribuição Granulométrica – ST-08-AM 02 – 2,5m A 3,3m

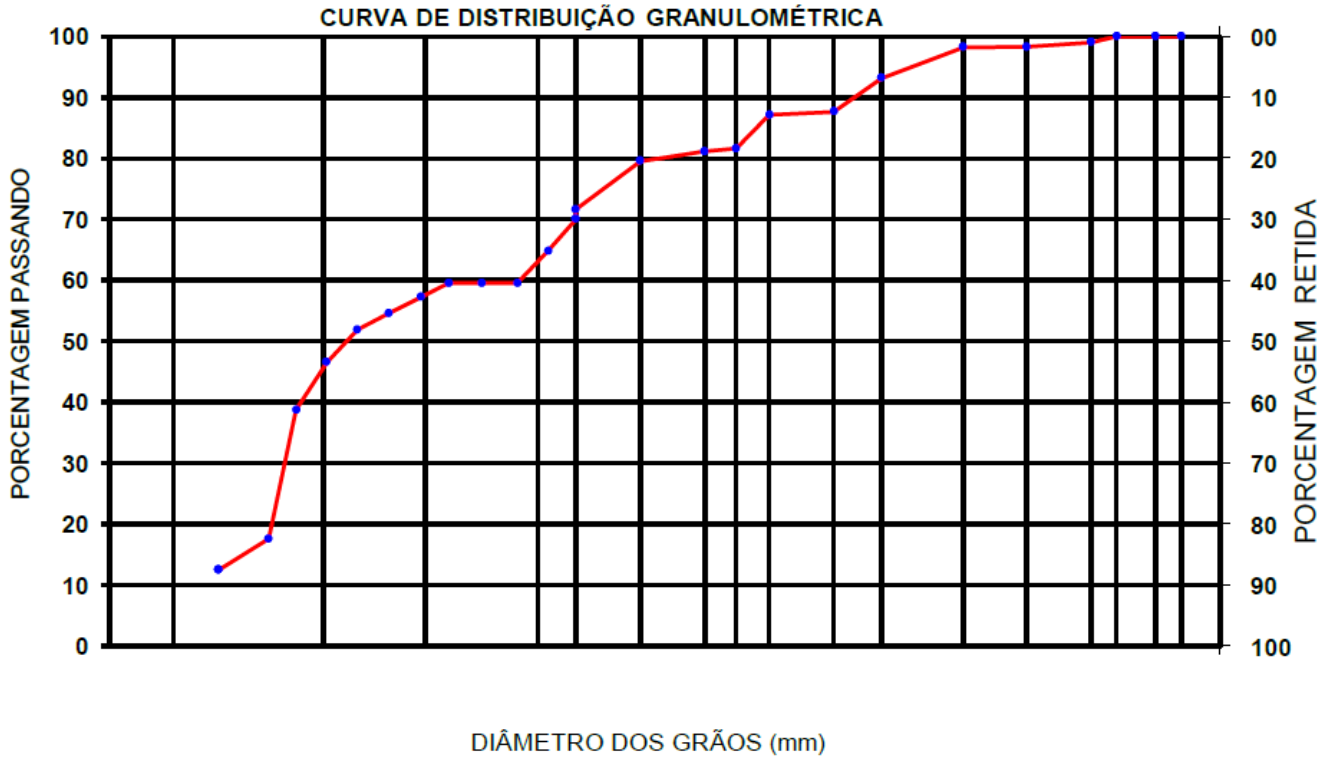


Figura 31 – Distribuição Granulométrica – ST-09-AM 01 – 0,5m A 2,5m

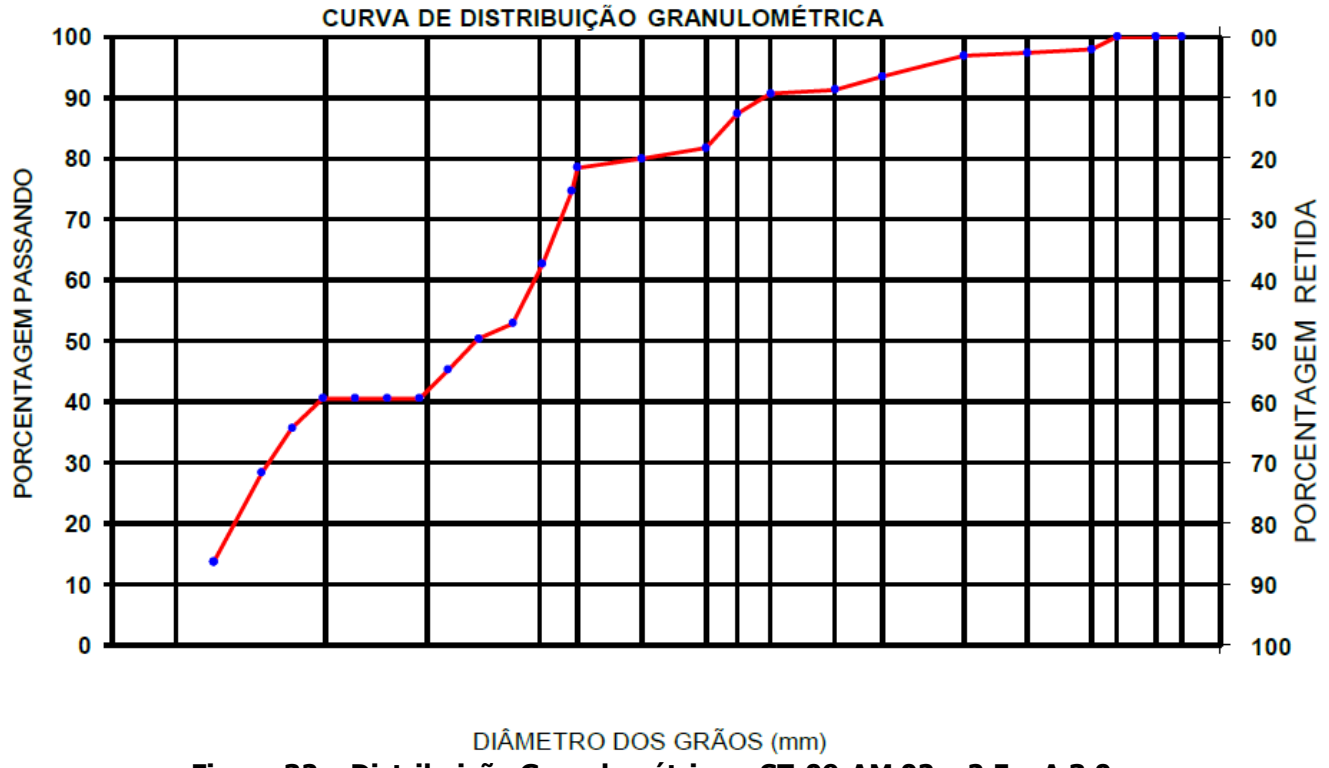


Figura 32 – Distribuição Granulométrica – ST-09-AM 02 – 2,5m A 3,0m

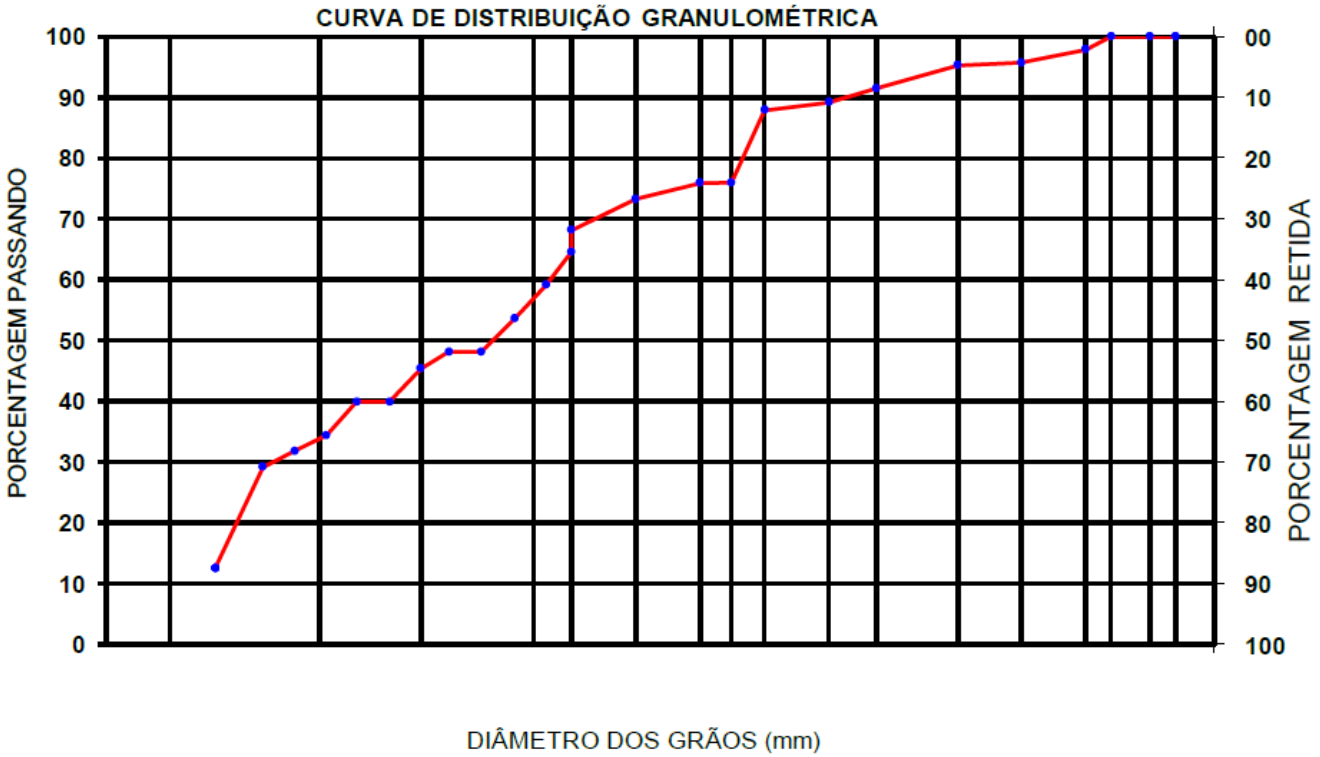


Figura 33 – Distribuição Granulométrica – ST-10-AM 01 – 0,5m A 2,5m

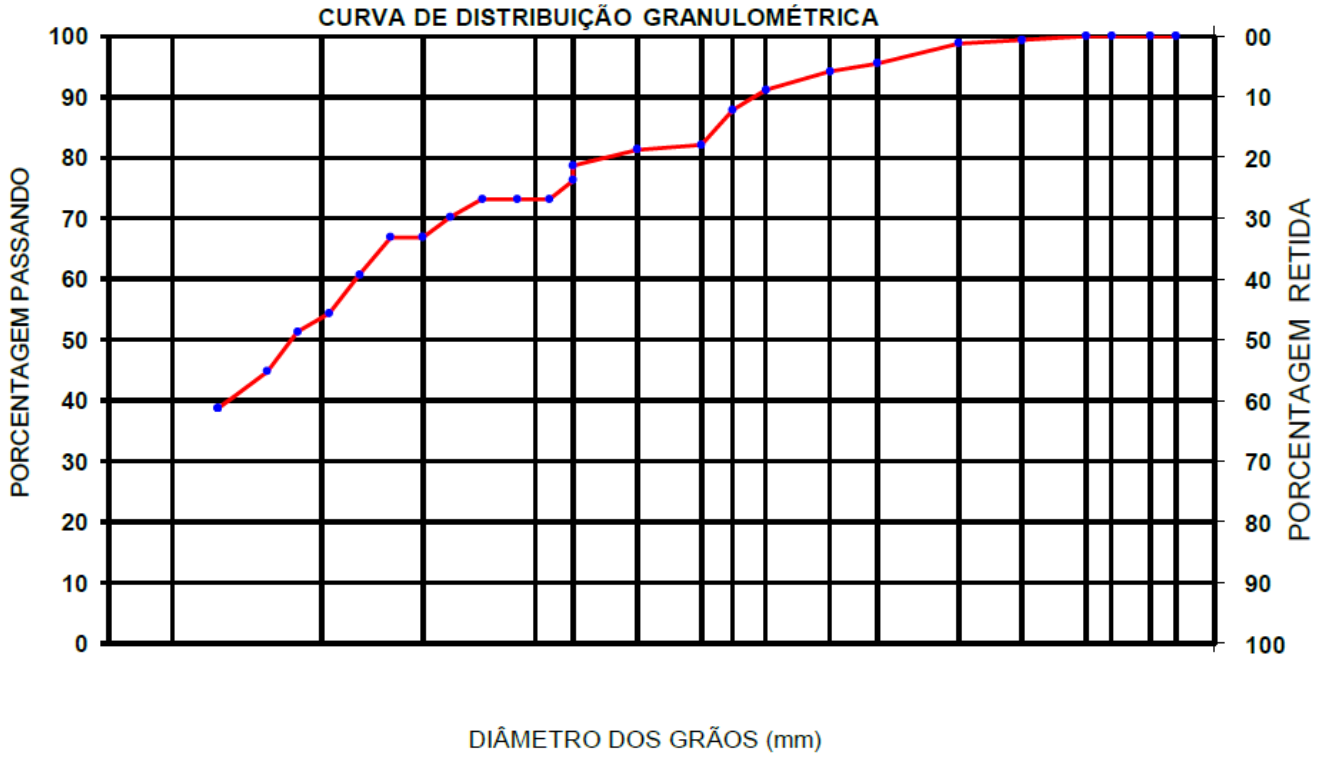


Figura 34 – Distribuição Granulométrica – ST-10-AM 02 – 2,5m A 4,0m

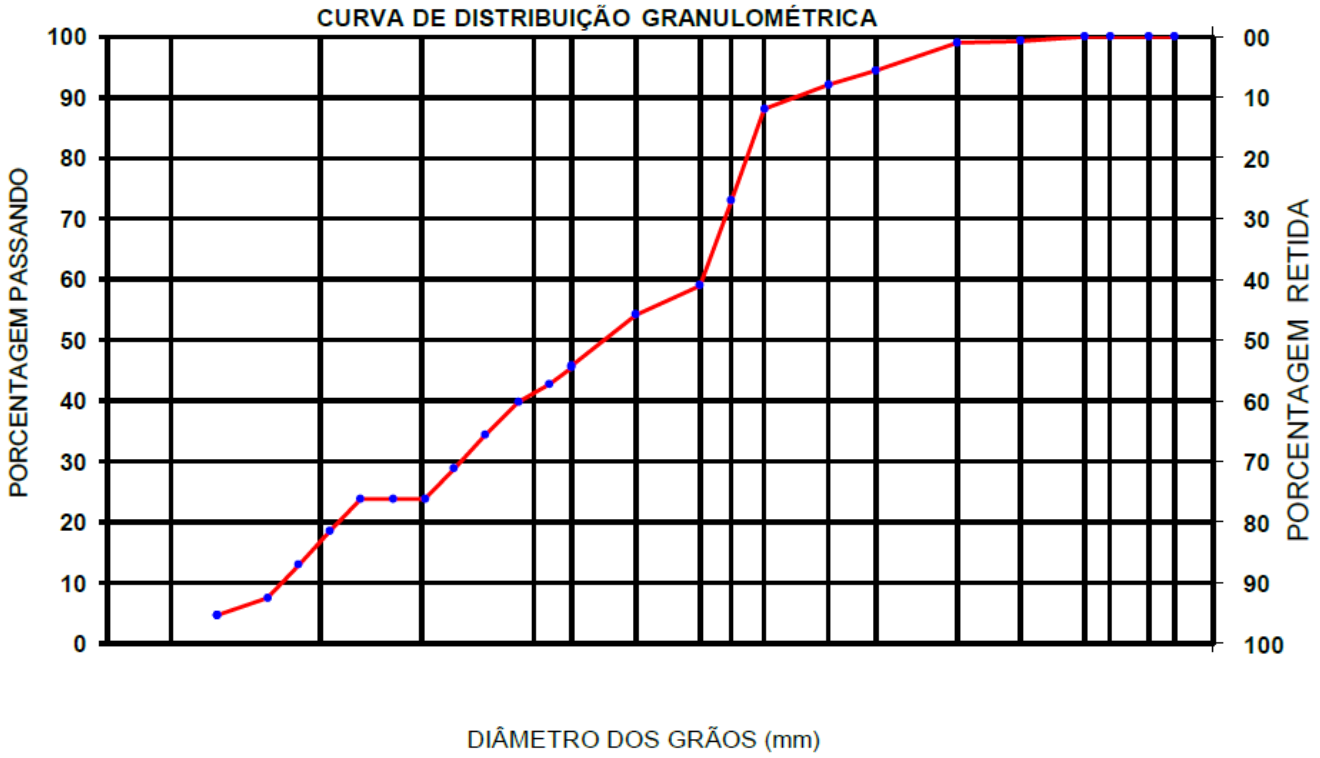


Figura 35 – Distribuição Granulométrica – ST-10-AM 03 – 4,0m A 6,0m

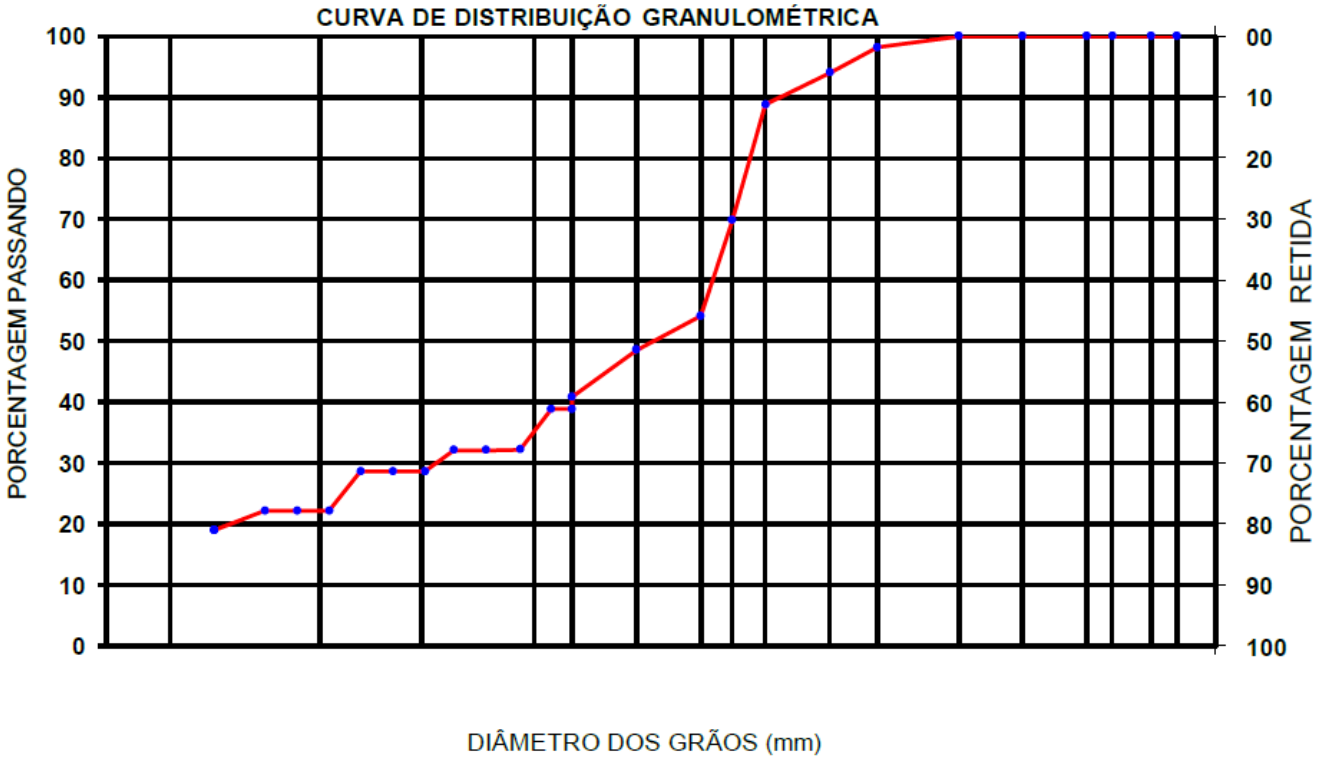


Figura 36 – Distribuição Granulométrica – ST-16-AM 01 – 0,5m A 1,0m

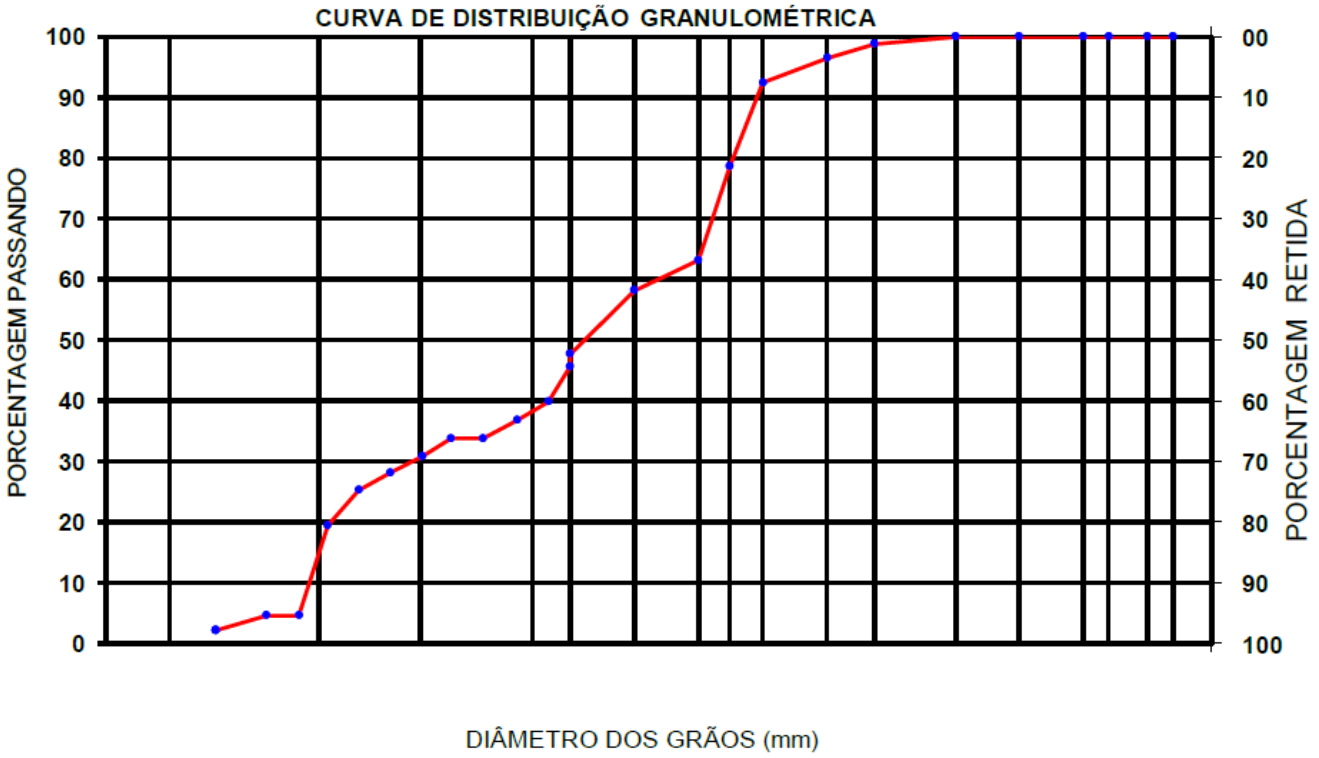


Figura 37 – Distribuição Granulométrica – ST-16-AM 06 – 1,0m A 6,0m

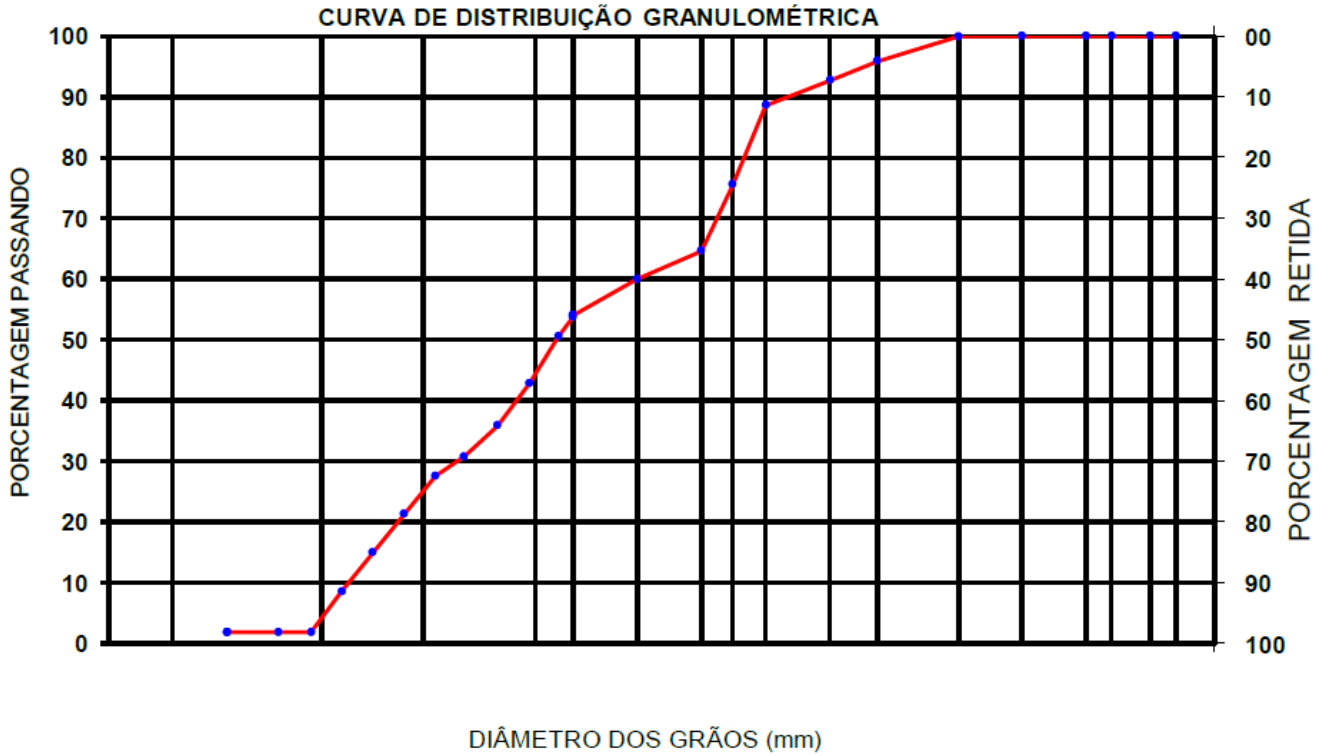


Figura 38 – Distribuição Granulométrica – ST-17-AM 01 – 0,3m A 1,0m

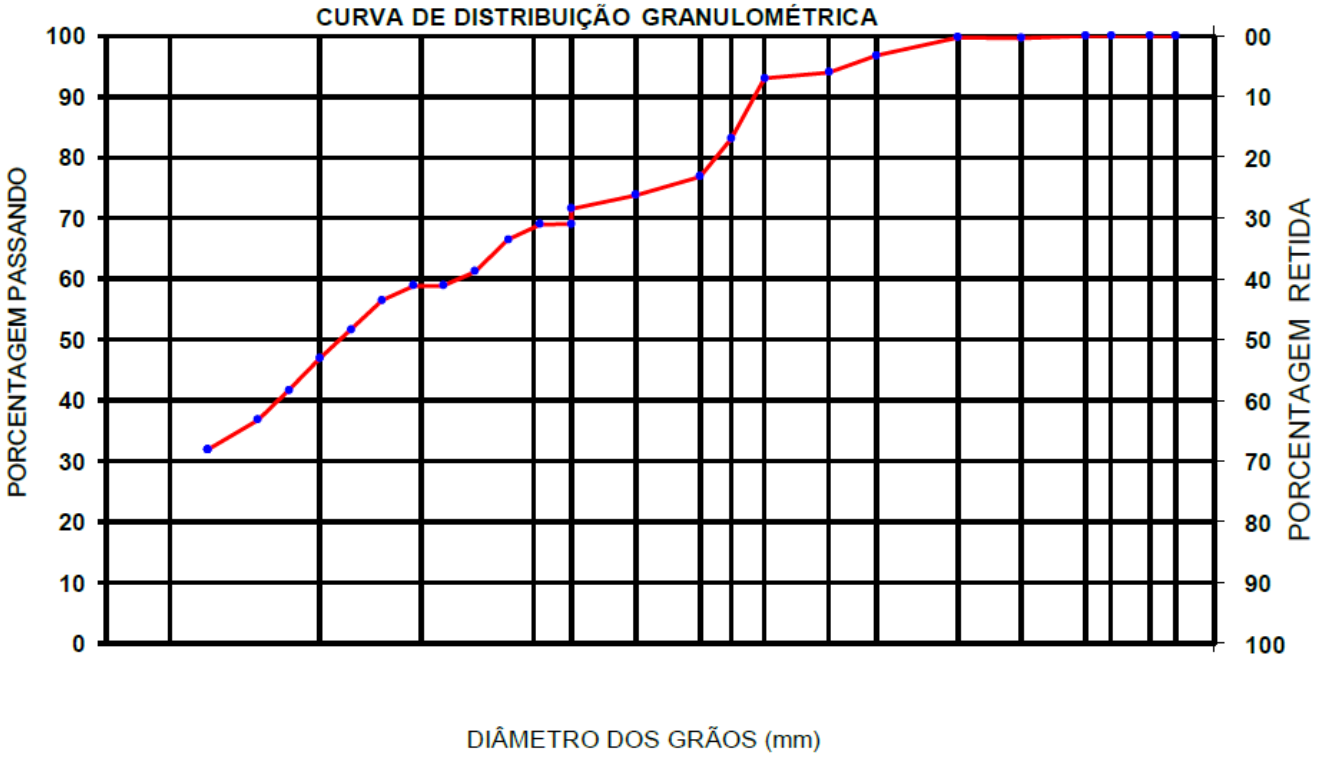


Figura 39 – Distribuição Granulométrica – ST-17-AM 02 – 1,0m A 3,0m

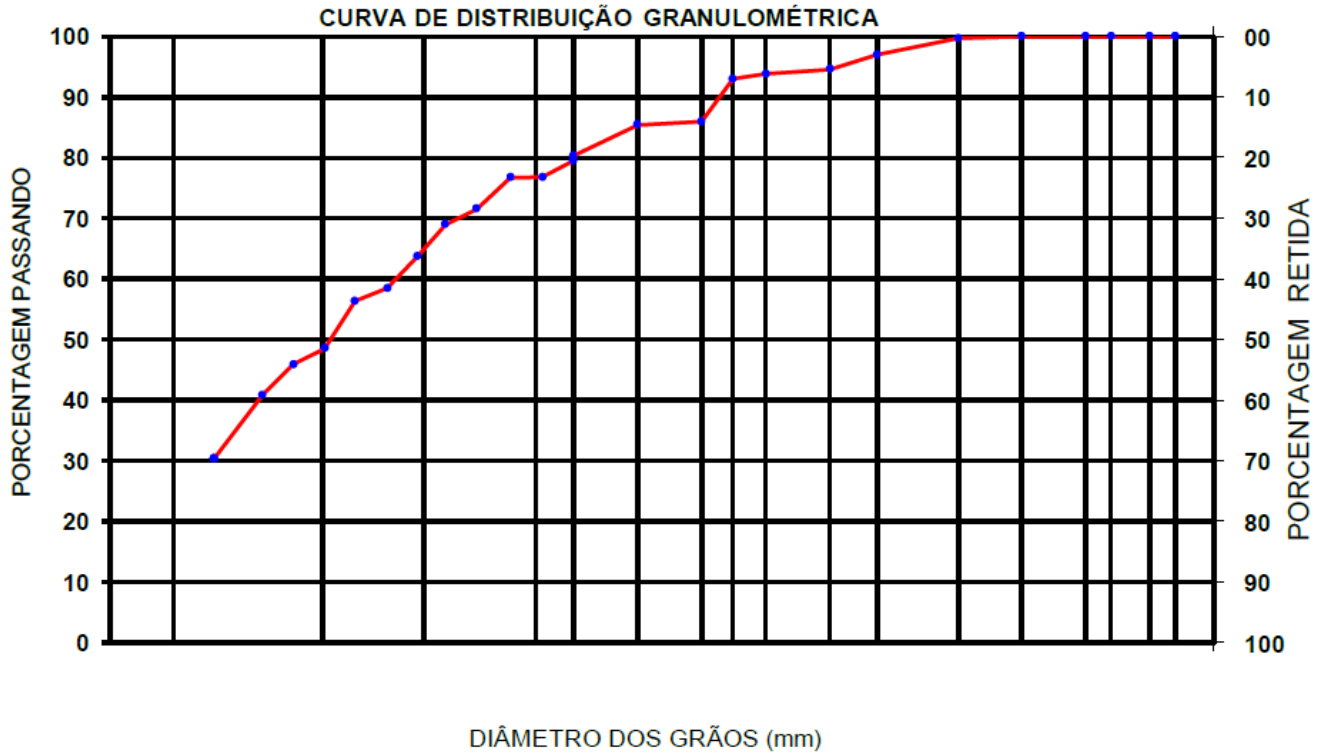


Figura 40 – Distribuição Granulométrica – ST-17-AM 04 – 4,0m A 6,0m

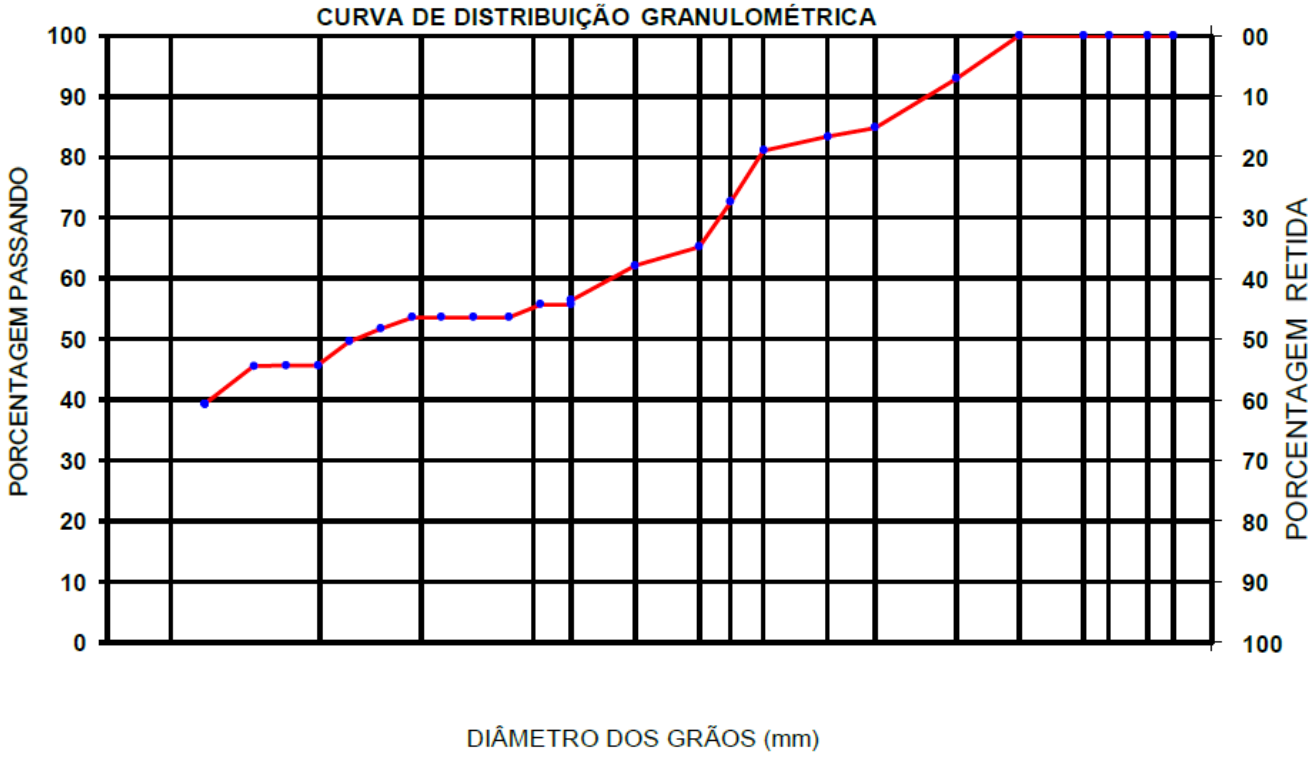


Figura 41 – Distribuição Granulométrica – ST-18-AM 01 – 0,0m A 2,0m

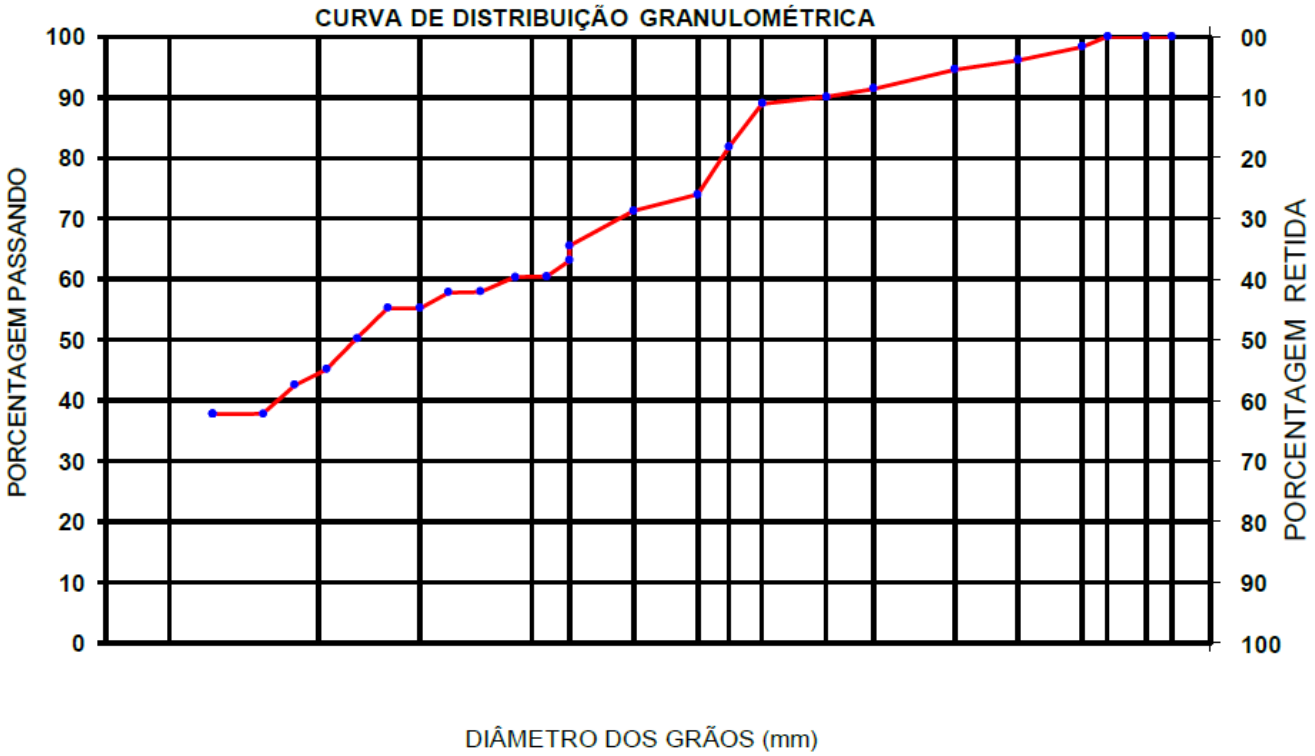


Figura 42 – Distribuição Granulométrica – ST-18-AM 03 – 4,0m A 6,0m

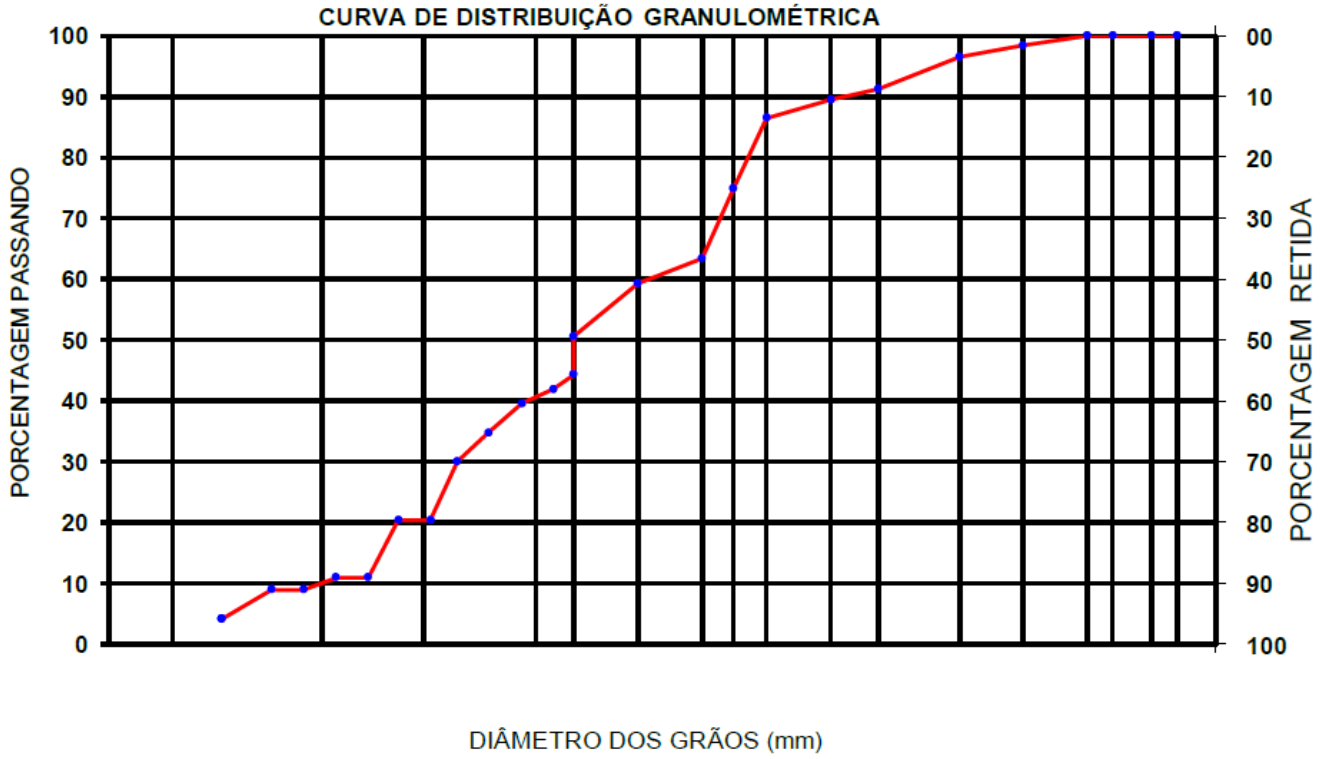


Figura 43 – Distribuição Granulométrica – ST-19-AM 01 – 0,0m A 2,0m

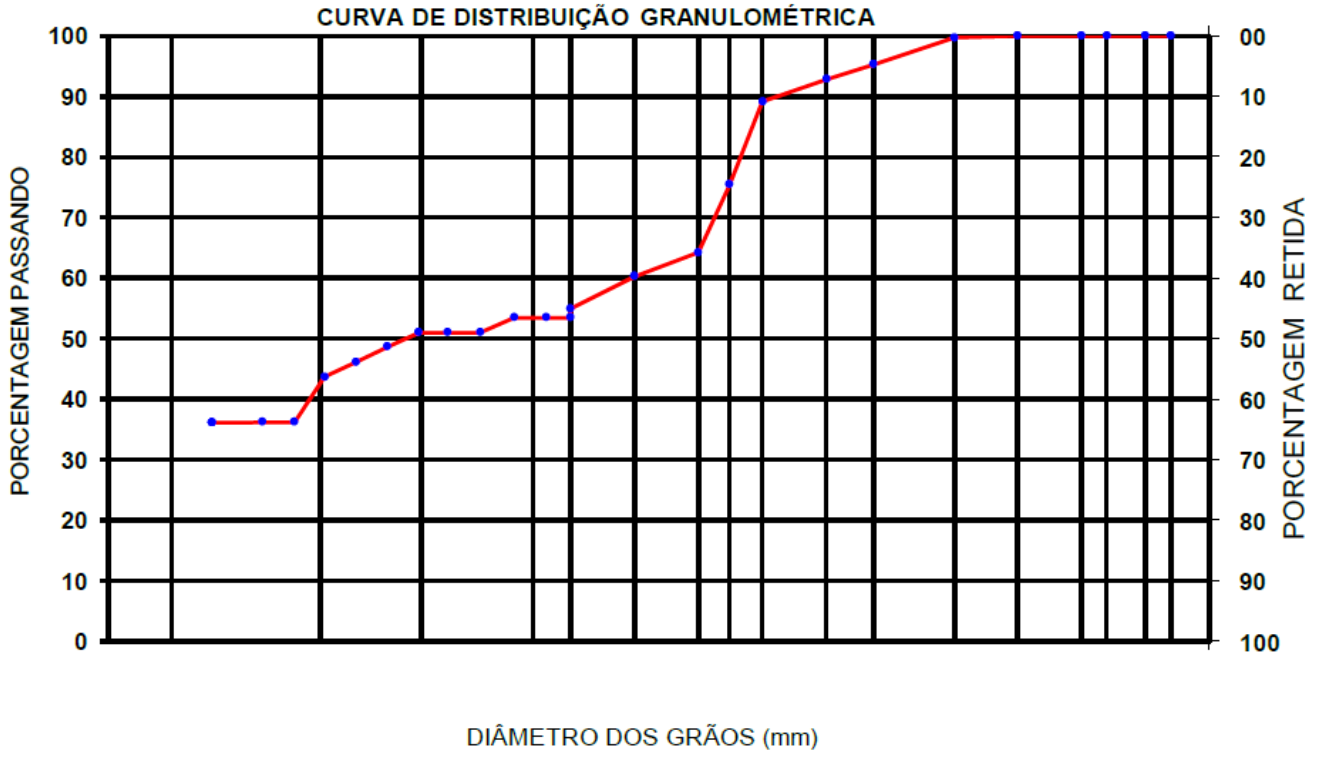


Figura 44 – Distribuição Granulométrica – ST-19-AM 02 – 2,0m A 4,0m

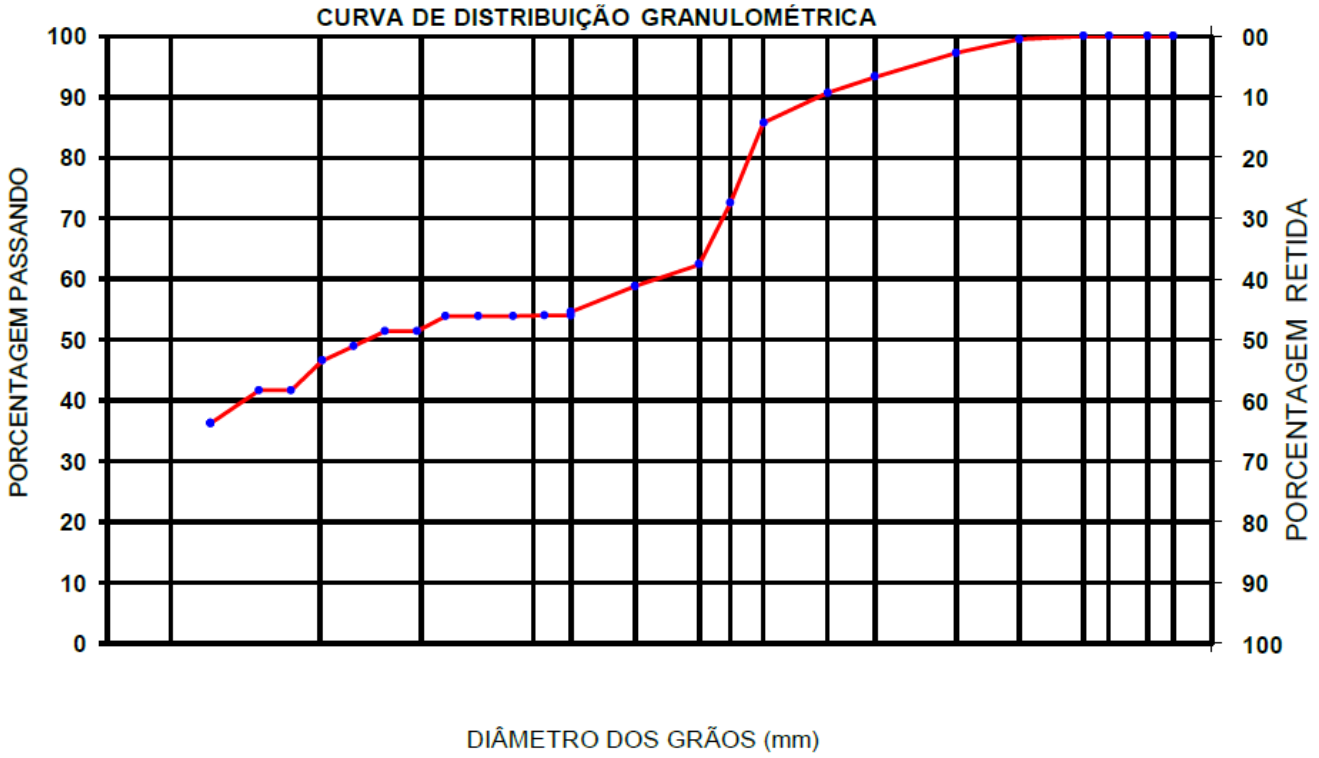


Figura 45 – Distribuição Granulométrica – ST-19-AM 03 – 4,0m A 6,0m

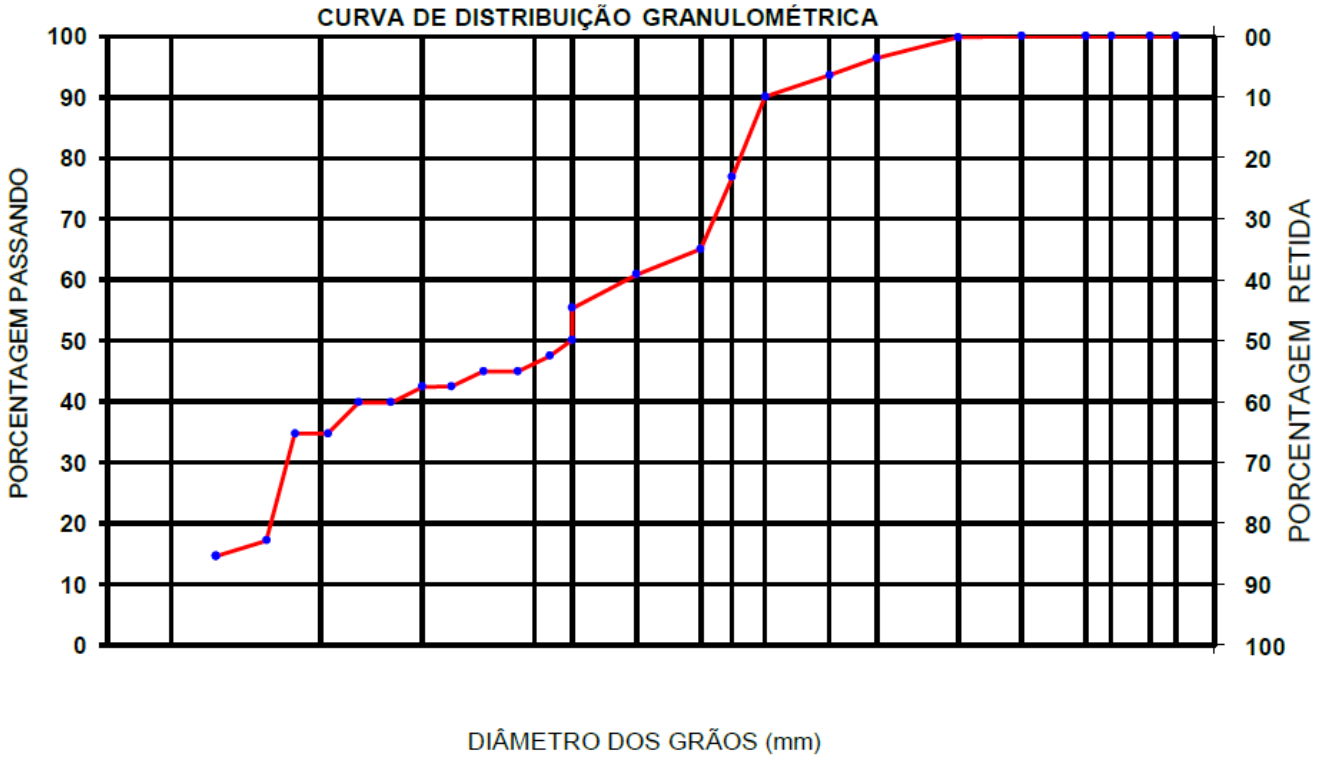


Figura 46 – Distribuição Granulométrica – ST-20-AM 01 – 0,5m A 2,0m

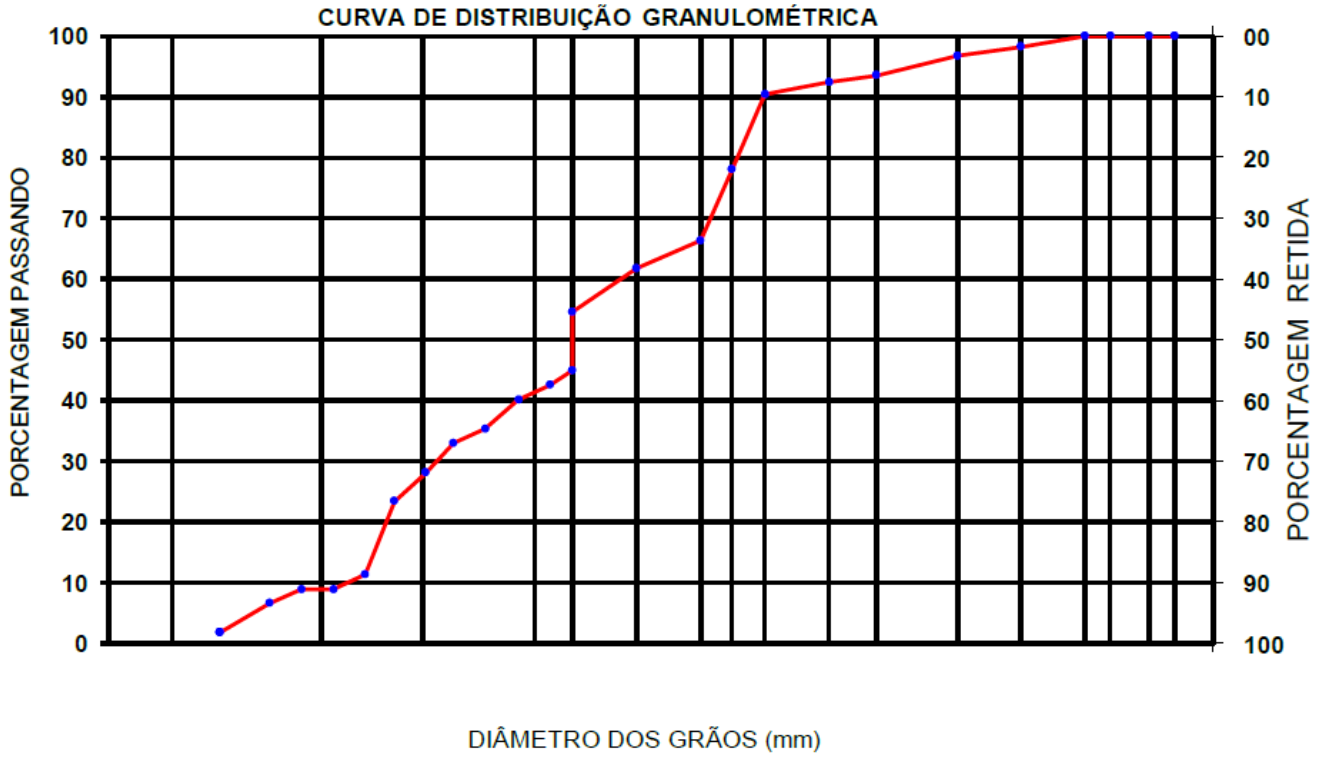


Figura 47 – Distribuição Granulométrica – ST-20-AM 02 – 2,0m A 4,0m

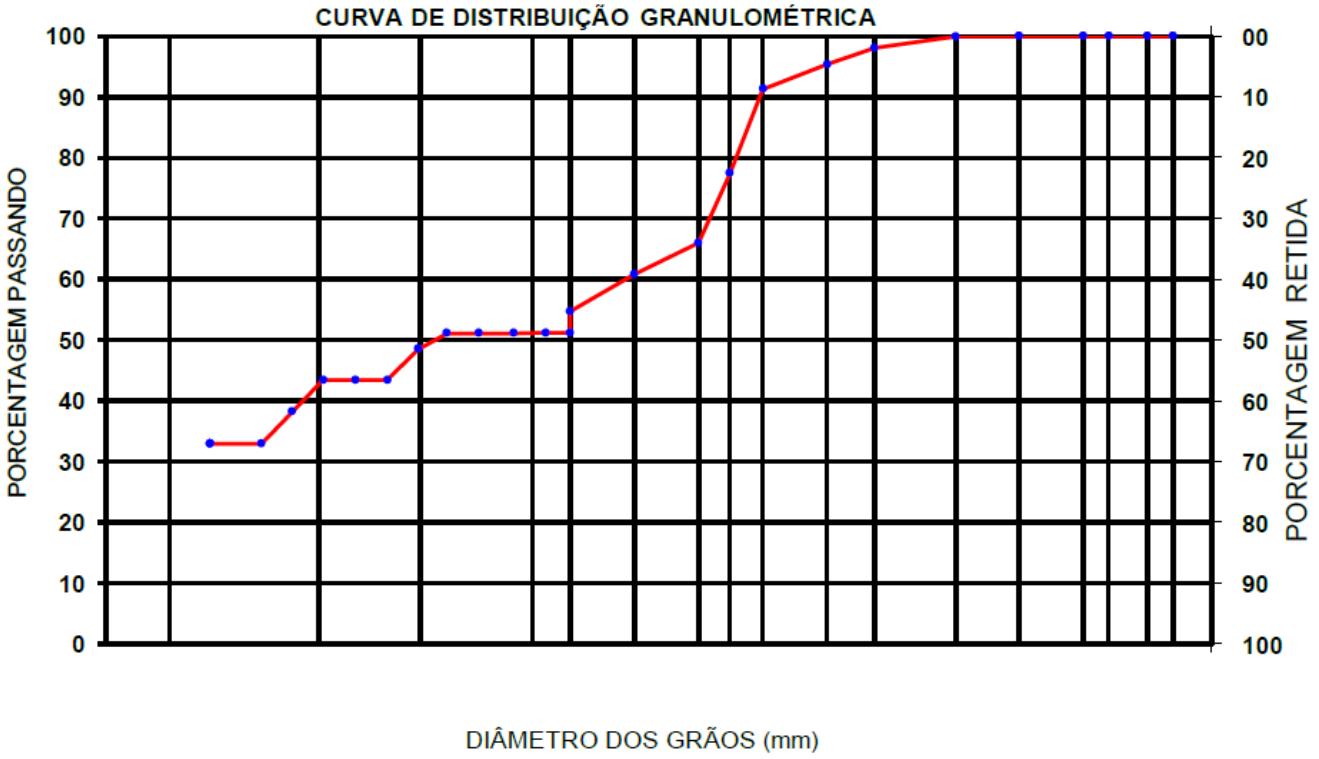


Figura 48 – Distribuição Granulométrica – ST-20-AM 03 – 4,0m A 6,0m