

**CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

APOSTILA DE AULAS PRÁTICAS



U:VERSE
Centro Universitário

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A disciplina Materiais de Construção tem como objetivo conscientizar os alunos do Curso de Engenharia Civil sobre a importância do conhecimento técnico-científico dos materiais de construção — especificamente na área de tecnologia de concreto e da utilização das respectivas normas técnicas — tornando-o capaz de realizar dosagens e ensaios de concreto e interpretar seus resultados.

A disciplina é de caráter teórico-prático e visa, através de aulas expositivas, exercícios diversos, ensaios de laboratório e realização de trabalho prático, em equipe, colocar o aluno em contato com a prática da construção civil e com a produção de um concreto em laboratório.

Para facilitar o acompanhamento das aulas práticas, oferece-se ao estudante este caderno de práticas. Espera-se, portanto, que os futuros profissionais do curso de Engenharia Civil encontrem neste os conhecimentos básicos necessários para iniciarem suas atividades profissionais, cujo aprimoramento se dará, em especial, através da vivência dos processos construtivos.

Este material foi elaborado baseado no Caderno de Aulas Práticas do Professor Adailton de Oliveira Gomes, professor adjunto IV do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais da Escola Politécnica da UFBA, Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Ambiental e Urbana pela UFBA.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAIS

Conscientizar os alunos do Curso de Engenharia Civil sobre a importância do conhecimento técnico-científico dos materiais de construção, especificamente na área de tecnologia de concreto e da utilização das respectivas normas técnicas.

2.2. ESPECÍFICOS

Transmitir aos alunos, noções de segurança, de técnicas básicas de laboratório e de conceitos fundamentais dos Materiais de Construção.

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

3. CONTEÚDO

Os conteúdos experimentais serão desenvolvidos conforme as atividades teóricas forem desenvolvidas em sala de aula, que será uma ferramenta de equilíbrio e pré-requisito para o desenvolvimento das aulas experimentais de materiais de construção. Então os seguintes tópicos serão trabalhados ao longo do terceiro ano do curso de Engenharia civil da instituição, como:

- ✓ Noções elementares de segurança de laboratório;
- ✓ Explicações sobre o uso de vidrarias, maquinários e equipamento do laboratório;
- ✓ Introdução às técnicas básicas de pesagem, peneiramento e etc.
- ✓ Caracterização dos agregados, misturas de agregados, cimentos e concreto.
- ✓ Medidas e erros: tratamento de dados experimentais. Aplicações práticas dos princípios normativos, preparações de amostras, construção de gráficos, entre outros.

3.1. MÉTODOS UTILIZADOS

A execução das aulas experimentais em laboratório, se dará através da execução das práticas, assim como no coletar de dados experimentais, resolver exercícios sobre o tema experimental abordado, além das discussões através da entrega de relatórios descritos conforme norma específica.

3.2. ATIVIDADES DISCENTES

Após a explicação do professor sobre o tema a ser abordado experimentalmente o aluno deverá ser capaz de realizar o experimento no laboratório, assim como desenvolver um relatório com discussão de resultados e com revisão da literatura.

4. ROTEIRO PARA ELABORAÇÃO DE RELATÓRIO

4.1. NOÇÕES GERAIS

O relatório de atividades deve, em primeiro lugar, retratar o que foi realmente realizado no experimento, sendo de fundamental importância a apresentação de um documento bem ordenado e de fácil manuseio. Além disso, deve ser o mais sucinto possível e descrever as atividades experimentais realizadas, a base teórica dessas

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

atividades, os resultados obtidos e sua discussão, além da citação da bibliografia consultada.

O relatório deve ser redigido de uma forma clara, precisa e lógica. Redija sempre de forma impessoal, utilizando-se a voz passiva no tempo passado.

Exemplo: a massa das amostras sólidas **foi** determinada utilizando-se uma balança.

Devem ser evitados expressões informais ou termos que não sejam estritamente técnicos (**Não utilize em hipótese algum adjetivo possessivo, como por exemplo, minha reação, meu banho, meu qualquer coisa**). É bastante recomendável, efetuar uma revisão do relatório para retirar termos redundantes, esclarecer pontos obscuros e retificar erros.

Uma atenção especial deve ser dada aos termos técnicos, resultados, fórmulas e expressões matemáticas. As ilustrações (tabelas, fórmulas, gráficos) deverão vir na sequência mais adequada ao entendimento do texto e seus títulos e legendas devem constar imediatamente abaixo.

5. TÓPICOS DE COMPOSIÇÃO DE UM RELATÓRIO

O professor define a forma como o Relatório deverá ser preparado, se manuscrito ou digitado, e outras definições quanto a papel, fonte, espaçamento etc.

A seguir são sugeridas as várias partes que compõem um relatório e que servem como orientação básica para o aluno.

Capa

- 1. Resumo**
- 3. Introdução Teórica**
- 4. Objetivos**
- 5. Parte experimental**
- 5. Resultados e Discussão**
- 6. Conclusão**
- 7. Referências**

Capa: deve trazer, pelo menos, as seguintes informações:

- Créditos à Instituição;
- Número e título do respectivo experimento
- Nome completo e número de matrícula dos três alunos da dupla;
- Turma e professor;

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

- Data de execução do experimento e do relatório.

Obrigatoriamente o relatório deve conter as seguintes partes:

1. Resumo do experimento

Inicialmente, deve ser feito um resumo dos principais aspectos a serem abordados no relatório, tendo por base as etapas constantes do procedimento experimental desenvolvido e dos resultados obtidos. Esse item deve ser elaborado de forma clara e sucinta para proporcionar ao leitor as informações contidas no documento. **Não deve ultrapassar 100 palavras.**

2. Breve Introdução Teórica à matéria do respectivo experimento

A cópia literal e não referenciada de textos das bibliografias consultadas, sejam elas livros, artigos ou arquivos da internet será considerada plágio, o que se constitui grave infração, como crime de falsidade ideológica.

3. Objetivos do respectivo experimento.

4. Descrição detalhada da Parte Experimental - Procedimento

Descrição detalhada do experimento realizado, dos métodos analíticos e técnicas empregadas, bem como descrição dos instrumentos utilizados. Não deve ser escrita como um receituário. Esse item precisa conter elementos suficientes para que qualquer pessoa possa ler e reproduzir o experimento no laboratório. Utiliza-se desenhos e diagramas para esclarecer sobre a montagem da aparelhagem ou esquema das experiências. Não deve incluir resultados ou a sua discussão.

5. Resultados e Discussão

Descrição detalhada do que foi observado, interpretação dos fenômenos observados à luz de uma teoria existente, equações químicas balanceadas das reações, representando os fenômenos observados, tabelas, gráficos e espectros.

Esta é a principal parte do relatório, em que serão mostrados todos os resultados obtidos, podendo ser numéricos ou não. Deverá ser feita uma análise dos resultados obtidos, com as observações e comentários pertinentes. Em um relatório desse tipo, espera-se que o aluno discuta os resultados em termos dos fundamentos teóricos estabelecidos na introdução, mas também que sejam descritos os resultados e

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

observações inesperados, procurando uma justificativa plausível para os fatos. Podem ser utilizadas tabelas, gráficos e figuras como suporte para melhor esclarecer o que se pretende explicar.

6. Conclusão geral

Neste item, deverá ser feita uma avaliação, a qual descreverá se os objetivos estabelecidos foram alcançados, bem como se deve fazer uma análise global do experimento realizado. É necessário apresentar, de forma sucinta, os fatos extraídos do experimento, apontando possíveis explicações, fontes de erro experimental e oferecer uma crítica ao experimento como um todo. Não é uma síntese do que foi feito (isso já está no Resumo) e também não é a repetição da discussão.

7. Referências consultadas

Listar a bibliografia consultada para a elaboração do relatório, utilizando as normas recomendadas pela ABNT:

Sobrenome do autor, iniciais do nome completo. Título do livro: subtítulo. Tradutor. Nº da edição. Local de publicação: Editora. Ano de publicação. Páginas consultadas.

1) NORMAS DE PROCEDIMENTO E SEGURANÇA NO LABORATÓRIO

Os laboratórios de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos são locais onde materiais inflamáveis ou tóxicos são usualmente manuseados. Esta característica requer uma atenção especial e um comportamento adequado, para reduzir ao mínimo o risco de acidentes. O descuido e a ignorância de perigos possíveis são as causas principais de acidentes em laboratório. Por isso, você deve ler com atenção as instruções abaixo e **NÃO DEVE JAMAIS BRINCAR EM SERVIÇO.**

1. Só entrar no laboratório depois de vestir o jaleco e de colocar os óculos de segurança. Além disso, não trabalhar sozinho: é conveniente fazê-lo sempre na presença de outra pessoa.
2. Não fumar, não comer e não beber dentro do laboratório.
3. Ouvir com muita atenção as instruções do professor ou do seu auxiliar.

CENTRO UNIVERSITARIO U:VERSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

4. Pedir autorização ao professor se quiser modificar o procedimento previsto para a execução de qualquer experiência.
5. Ao ligar qualquer aparelho, verificar se a voltagem da rede corresponde à indicada na etiqueta do aparelho.
6. Não ligar ou desligar um interruptor elétrico sem verificar quais as instalações que se relacionam, direta ou indiretamente, com esse interruptor.
7. Não provar/ingerir quaisquer insumos que sejam, a não ser por ordem direta do professor.
8. Não inalar gases ou vapores sem certificar-se de que não são tóxicos. Mesmo assim, ter o cuidado de trazer até o nariz, com a mão, pequenas porções do ar em volta do frasco.
9. Evitar o contato de qualquer substância com a pele. Evitar também o uso de material com defeito, principalmente vidraria.
10. Ao aquecer substâncias ou soluções em tubos de ensaio, não virar a boca do tubo em sua direção ou em outra pessoa. Não aquecer bruscamente nenhum sólido ou líquido. Jamais aquecer sistemas completamente fechados.
11. Manter a cabeça e as roupas afastadas da chama.
12. Não trabalhar com substâncias inflamáveis perto da chama. Exemplos de inflamáveis: álcoois, éteres, cetonas, hidrocarbonetos. Atenção redobrada ao ensaio expedito de umidade com uso de álcool etílico.
13. Manusear com cuidado vidraria ou peças metálicas aquecidas. Lembrar-se de que materiais quentes e frios possuem geralmente a mesma aparência.
14. Rotular a pisseta corretamente quando utilizá-la para conter líquidos diferentes de água destilada. Rotular de forma adequada os frascos destinados a conter reativos recém-preparados.
15. Não jogar detritos na pia ou nos ralos. Utilizar para isso as lixeiras existentes no laboratório. Observar quais lixeiras estão destinadas a conter vidros quebrados.
16. Atenção quanto ao acionamento e funcionamento de aparelhos mecânicos, como betoneira, misturador, entre outros.
17. Antes de deixar o laboratório, lavar a vidraria e equipamentos utilizados, limpar a mesa de trabalho e lavar bem as mãos.
18. Ao retirar-se do laboratório, verificar se todos os aparelhos estão desligados e se não há torneiras abertas (água e gás).

SE OCORRER ALGUM ACIDENTE, CHAMAR O PROFESSOR IMEDIATAMENTE

I - AGREGADOS

DEFINIÇÕES

Agregado - material granular sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e concretos.

Agregado graúdo - material granular cujos grãos passam na peneira com abertura de malha 150 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm (pedregulho, brita e seixo rolado).

Agregado miúdo - material granular cujos grãos passam na peneira de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira de 0,075mm (areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas).

Caracterização - determinação da composição granulométrica e de outros índices físicos dos agregados de modo a verificar as propriedades e características necessárias à produção de concreto e argamassas.

Superfície específica - relação entre a área total da superfície dos grãos e sua massa.

Amostra parcial - parcela de agregado retirada, de uma só vez, de determinado local do lote.

Amostra de campo - porção representativa de um lote de agregado, coletada nas condições prescritas na NBR NM 26:2001, seja na fonte de produção, armazenamento ou transporte. É obtida a partir de várias amostras parciais.

Amostra de ensaio - amostra de agregado representativa da amostra de campo, obtida segundo a NBR NM 27:2001, destinada à execução de ensaio em laboratório.

1 - CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

1.1 - PRÁTICA 01 - GRANULOMETRIA - NBR NM 248:2003

DEFINIÇÕES

Composição Granulométrica - proporção relativa das massas dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado, expressa em percentagem.

Percentagem retida - percentagem em massa, em relação à amostra total do agregado, que fica retida numa determinada peneira, tendo passado pela peneira da série normal ou intermediária imediatamente superior.

Percentagem retida acumulada - soma das percentagens retidas nas peneiras de abertura de malha maior e igual a uma determinada peneira.

Curva granulométrica - representação gráfica das percentagens retidas acumuladas em cada peneira em relação à dimensão da abertura de sua malha. A percentagem retida acumulada é representada em escala natural (ordenada) e a abertura da peneira em escala logarítmica (abscissa).

Dimensão máxima característica - grandeza correspondente à abertura nominal, em milímetro, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, em massa, igual ou imediatamente inferior a 5%.

Módulo de finura - soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

APARELHAGEM

- balança com resolução de 0,1% da massa da amostra;
- estufa;
- agitador mecânico (facultativo);
- bandejas;
- escova ou pincel;
- peneiras + tampa e fundo.

Peneiras:

Conjunto de peneiras sucessivas com as seguintes aberturas, em milímetros:

NBR NM 248

	Série Normal	Série Intermediária
Agregado Graúdo	75 mm	--
	--	63 mm
	--	50 mm
	37,5 mm	--
	--	31,5 mm
	--	25 mm
	19 mm	--
	--	12,5 mm
	9,5 mm	--
	--	6,3 mm
Agregado Miúdo	4,75	--
	2,36	--
	1,18	--
	600 µm	--
	300 µm	--
	150 µm	--

AMOSTRA

A massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a tabela

Dimensão máxima do agregado(mm)	Massa mínima da amostra (kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

* Após secagem

ENSAIO

- Formar duas amostras M1 e M2 de acordo com NBR NM 27:2001;
- Secar as amostras em estufa a 100°C
- Determinar as massas (M1, M2), à temperatura ambiente;
- Colocar cada amostra (M1 ou M2) no conjunto de peneiras;
- Promover agitação mecânica. Se não for possível, adote o processo manual;
- Destacar as peneiras e agitar manualmente até que o material passante seja inferior a 1% da massa total da amostra ou fração, em 1 minuto de agitação;
- Determinar a massa do material retido em cada peneira.

Obs: o somatório das massas deve diferir, no máximo, 0,3% da massa inicial da amostra seca.

RESULTADOS

Cálculos

Para cada amostra, calcular:

1. a percentagem retida em cada peneira com aproximação de 0,1%;
2. a percentagem média retida e acumulada com aproximação de 1%;
3. o módulo de finura, com aproximação de 0,01.

Obs: a) M1 e M2 devem ter mesma dimensão máxima característica.

b) Nas duas amostras, valores de percentagem retida individualmente não devem diferir mais de 4% entre peneiras da mesma abertura de malha.

Apresentar relatório com pelo menos:

- a percentagem média retida em cada peneira;
- a percentagem média retida acumulada em cada peneira;
- a dimensão máxima característica e o módulo de finura.
- classificação do agregado conforme NBR 7211.

Limites granulométricos de agregado miúdo (NBR 7211)				
Peneira ABNT (mm)	% em massa retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
600	15	35	55	70
300	50	65	85	95
150	85	90	95	100

Notas:

1. O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90
2. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20
3. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Limites granulométricos de agregado graúdo (NBR 7211)					
Peneira ABNT (mm)	% em massa retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75	-	-	-	-	0 - 5
63	-	-	-	-	5 - 30
50	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	-	0 - 5	5 - 25 ²⁾	87 - 100	-
19	-	2 - 15 ²⁾	65 ²⁾ - 95	95 - 100	-
12,5	0 - 5	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92 - 100	-	-
9,5	2 - 15 ²⁾	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-
6,3	40 ²⁾ - 65 ²⁾	92 - 100	-	-	-
4,75	80 ²⁾ - 100	95 - 100	-	-	-
2,36	95 - 100	-	-	-	-

¹⁾ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo

²⁾ Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

1.2 - PRÁTICA 02 - MATERIAIS PULVERULENTOS – NBR 16973:2021

DEFINIÇÃO

Materiais pulverulentos - partículas minerais com dimensão inferior a 75 µm, incluindo os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

APARELHAGEM

- balança com resolução de 0,1% da massa da amostra;
- estufa;
- peneiras com aberturas de malhas de 1,18 mm a 75 µm.

AMOSTRA

A massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a tabela

Dimensão máxima do agregado(mm)	Massa mínima da amostra (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19,0	2500
37,5 ou superior	5000

ENSAIO

- Secar a amostra em estufa a 100°C;
- Determinar a massa inicial M_i ;
- Colocar em um recipiente, recoberta de água; Caso seja necessário, adicionar um agente dispersante (ex: detergente líquido) à água.
- Agitar vigorosamente e verter parte da água para outro recipiente através das peneiras;
- Repetir a operação até que a água de lavagem se torne límpida, devolvendo o material retido nas peneiras para o recipiente;
- Secar o material lavado em estufa a 100°C;
- Determinar a massa à temperatura ambiente M_f .

RESULTADO

O teor de materiais pulverulentos é calculado pela relação: % mat. pulv. = $\frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100$

Especificação (NBR 7211): os teores de material pulverulento do agregado miúdo devem ser: menor ou igual a 3% para utilização em concreto submetido a desgaste superficial e menor ou igual a 5% para os demais concretos.

1.3 - PRÁTICA 03 - MASSA ESPECÍFICA

DEFINIÇÃO

Massa específica - relação entre a massa do agregado seco e o volume dos grãos, incluindo os poros impermeáveis.

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Agregado miúdo: frasco de Chapman

Agregado graúdo: picnômetro
balança hidrostática

1.3.1 PRÁTICA 3.1 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO POR MEIO DO FRASCO CHAPMAN¹ - NBR 16916:2021

APARELHAGEM

- balança com capacidade de 1 kg e resolução de 1g;
- frasco de Chapman.

AMOSTRA

500 g do material seco em estufa (105°C - 110°C) até constância de massa.

ENSAIO

- Colocar água no frasco (até marca de 200 cm³);
- Introduzir 500g de agregado seco;
- Agitar até eliminar as bolhas de ar;
- Efetuar a leitura do nível atingido pela água.

¹ Norma em vigor:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2003). *NBR NM 52: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.

RESULTADO

A massa específica do agregado miúdo é calculada pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{M_s}{L - L_0} = \frac{500}{L - 200}$$

onde:

- ρ = massa específica do agregado miúdo expressa em kg/dm³;
- M_s = massa do material seco (500 g);
- L_0 = leitura inicial do frasco (200 cm³);
- L = leitura final do frasco.

- Obs.:** a) Duas determinações consecutivas não devem diferir entre si de mais de 0,05kg/dm³;
 b) Resultado expresso com três algarismos significativos.

EXEMPLO

DETERMINAÇÃO		1ª	2ª
Ms	MASSA DE AREIA SECA (g)	500	500
Lo	LEITURA INICIAL (cm ³)	200	200
L	LEITURA FINAL (cm ³)		
ρ	MASSA ESPECÍFICA (kg/dm ³)		
	valor médio (kg/dm ³)		

1.3.2 - PRÁTICA 3.2 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO PELO MÉTODO DO PICNÔMETRO - IPT-M9 -76

Ms	MASSA DA AMOSTRA (g)	700
M ₁	MASSA DO PICNÔMETRO + ÁGUA (g)	
M ₂	MASSA DO PICN. + ÁGUA + AMOSTRA (g)	
	(M ₁ + Ms) - M ₂	
ρ	MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO (kg/dm ³)	

$$\rho = \frac{M_s}{(M_1 + M_s) - M_2}$$

1.3.3. - PRÁTICA 3.3 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR 16917:2021

APARELHAGEM

- balança com capacidade mínima para 10 kg e resolução de 1 kg;
- recipiente para amostra, constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou superior a 3,35 mm ;
- tanque de imersão;
- Peneira com abertura nominal de dimensão conforme necessário.

AMOSTRA

A massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a tabela

Dimensão máxima do agregado(mm)	Massa mínima da amostra (kg)
12,5	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
125	75
150	125

ENSAIO

- Lavar a amostra e secar até constância de massa à temperatura de 105° - 110°C e pesar conforme tabela acima;
- imergir em água à temperatura ambiente por ± 24 h;
- secar superficialmente a amostra e determinar a massa M_s (agregado saturado com superfície seca);
- colocar a amostra no recipiente para determinação da massa M_a (massa em água) ;
- secar até massa constante a 105°C, deixar esfriar e pesar novamente (m , agregado seco).

RESULTADO

- Massa específica do agregado seco

$$\rho = \frac{m}{m_s - m_a}$$

- Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

- Massa específica aparente

$$\rho_a = \frac{m}{m - m_a}$$

- Absorção de água

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100$$

- Obs.:** a) A diferença $m_s - m_a$ é numericamente igual ao volume do agregado, excluindo-se os vazios permeáveis.
 b) A diferença $m - m_a$ é numericamente igual ao volume do agregado, incluindo-se os vazios permeáveis.
 c) Média de duas determinações;
 d) Os resultados não devem diferir mais de 0,02 g/cm³;
 e) Resultado com aproximação de 0,01 g/cm³.
 f) Indicar os resultados de absorção de água com aproximação de 0,1 %

EXEMPLO

DETERMINAÇÃO		1ª	2ª	Valor médio (g/cm ³)
m	MASSA DA AMOSTRA SECA			
m _s	MASSA DA AMOSTRA NA CONDIÇÃO SATURADA SUPERFÍCIE SECA (g)			
m _a	MASSA EM ÁGUA DA AMOSTRA(g)			
	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)			
ρ _s	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)			
A	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			

1.4 - PRÁTICA 4 - MASSA UNITÁRIA EM ESTADO SOLTO - NBR 16972:2021

DEFINIÇÃO

Massa unitária no estado solto - relação entre a massa do agregado seco contida em determinado recipiente e o volume deste.

APARELHAGEM

- balança;
- estufa;
- concha ou pá;
- recipiente cujas dimensões variam em função da dimensão máxima característica da amostra de acordo com a tabela.

Dimensões do recipiente paralelepipedico			
Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Dimensões mínimas (mm)		Volume (dm ³)
	BASE	ALTURA	
≤ 4,75	316 X 316	150	15
> 4,75 e ≤ 50	316 X 316	200	20
> 50	447 X 447	300	60

AMOSTRA

Dobro do volume do recipiente.

ENSAIO

- Determinar a massa do recipiente;
- Encher o recipiente, lançando o agregado de uma altura de 10 a 12 cm no topo;
- Alisar a superfície com régua (agregado miúdo) ou regularizar, compensando saliências e reentrâncias das pedras (agregado graúdo);
- Determinar a massa do recipiente cheio com o agregado.

RESULTADO

$$\text{Massa unitária (kg/dm}^3\text{): } \left(\frac{\text{Massa do agregado}}{\text{Volume do recipiente}} \right)$$

- Obs.:** a) Média de três determinações;
 b) Resultados individuais devem apresentar desvios menores ou iguais a 1% em relação a média;
 c) Resultado com aproximação de 0,01 kg/dm³.

Nota importante: no caso de agregado miúdo (areia), a massa unitária varia com o teor de umidade (ver inchamento); por isso o ensaio deve ser feito com agregado seco.

EXEMPLO

DETERMINAÇÃO		1ª	2ª	3ª
M _C	MASSA DO RECIPIENTE (kg)			
M _T	MASSA DO REC. + AMOSTRA (kg)			
M	MASSA DA AMOSTRA (kg)			
V	VOLUME DO RECIPIENTE (dm ³)			
μ	MASSA UNITÁRIA (kg/dm ³)			
	valor médio (kg/dm ³)			

$$\mu = \frac{M_T - M_C}{V} = \frac{M}{V}$$

1.5 - PRÁTICA 5 - MASSA UNITÁRIA EM ESTADO COMPACTADO - NBR 16972:2021

APARELHAGEM

- balança;
- estufa;
- concha ou pá;
- recipiente cujas dimensões variam em função da dimensão máxima característica da amostra de acordo com a tabela.
- haste de adensamento

Dimensões do recipiente cilíndrico			
Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Dimensões mínimas (mm)		Volume (dm ³)
	DIÂMETRO INFERIOR	ALTURA	
≤ 37,5	220	268	10
> 37,5 e ≤ 50	260	282	15
> 50 e ≤ 75	360	294	30

AMOSTRA

Dobro do volume do recipiente.

ENSAIO

Método A (dimensão máxima característica igual ou inferior a 37,5 mm)

- Determinar a massa do recipiente;
- encher o recipiente com o agregado até 1/3 de sua capacidade, nivelar a superfície com os dedos e adensar mediante 25 golpes da haste de adensamento;
- continuar o enchimento do recipiente até completar 2/3 de sua capacidade, nivelar a superfície e adensar (25 golpes);
- Encher totalmente o recipiente, nivelar e adensar (25 golpes);
- Determinar a massa do recipiente cheio com o agregado.

RESULTADO

$$\text{Massa unitária (kg/dm}^3\text{): } \left(\frac{\text{Massa do agregado}}{\text{Volume do recipiente}} \right)$$

- Obs.:** a) Média de três determinações;
 b) os resultados não devem diferir mais de 40 Kg/m³;
 c) resultado com aproximação de 10 kg/m³

Nota importante: no caso de agregado miúdo (areia), a massa unitária varia com o teor de umidade (ver inchamento); por isso o ensaio deve ser feito com agregado seco.

EXEMPLO

DETERMINAÇÃO		1 ^a	2 ^a	3 ^a
M _C	MASSA DO RECIPIENTE (kg)			
M _T	MASSA DO REC. + AMOSTRA (kg)			
M	MASSA DA AMOSTRA (kg)			
V	VOLUME DO RECIPIENTE (m ³)			
μ	MASSA UNITÁRIA (kg/m ³)			
	valor médio (kg/m ³)			

$$\mu = \frac{M_T - M_C}{V} = \frac{M}{V}$$

1.6 - PRÁTICA 6 - UMIDADE

DEFINIÇÃO

Umidade - relação entre a massa de água contida no agregado e sua massa seca, expressa em %.

$$h = \frac{M_a}{M_s} \times 100 = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

onde:

- h = umidade do agregado (%);
- M_h = massa da amostra úmida (g)
- M_a = massa de água (g);
- M_s = massa do agregado seco (g).

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

- Secagem em estufa
- Secagem por aquecimento ao fogo
- Frasco de Chapman (agregado miúdo)
- Speedy (agregado miúdo)

1.6.1 - PRÁTICA 6.1 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DE AQUECIMENTO AO FOGO

$$h = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M _H	MASSA DA AMOSTRA ÚMIDA	(g)	
M _S	MASSA DA AMOSTRA SECA	(g)	
M _a	MASSA DE ÁGUA	(g)	
h	UMIDADE	(%)	

1.6.2 - PRÁTICA 6.2 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO FRASCO DE CHAPMAN - NBR 9775:2011

DEFINIÇÃO

Umidade superficial - água aderente à superfície dos grãos expressa em percentagem da massa da água em relação à massa do agregado seco.

APARELHAGEM

- balança com capacidade de 1 kg e sensibilidade de 1g ou menos;
- frasco de Chapman.

AMOSTRA

500 g do material úmido.

ENSAIO

- Colocar água no frasco até a divisão de 200 cm³;
- Introduzir 500g de agregado úmido;
- Agitar até eliminar as bolhas de ar;
- Efetuar a leitura de nível atingindo pela água.

RESULTADO

$$h = \frac{[(L - 200)\rho] - 500}{\rho(700 - L)} \times 100$$

onde:

h = teor de umidade (%);

L = leitura do frasco (cm³);

ρ = massa específica (kg/dm³)

Obs.: a) Média de duas determinações;

b) Os resultados não devem diferir entre si mais do que 0,5%.

EXEMPLO

DETERMINAÇÃO		1ª	2ª
M _h	MASSA DE AREIA ÚMIDA (g)	500	500
ρ	MASSA ESPECÍFICA AREIA SECA (kg/dm ³)		
L	LEITURA NO FRASCO (cm ³)		
h	UMIDADE SUPERFICIAL (%)		
	valor médio (%)		

1.6.3 - PRÁTICA 6.3 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO APARELHO SPEEDY - DNER - ME 52 - 64

APARELHAGEM

- Speedy;
- ampolas com cerca de 6,5g de carbureto de cálcio (CaC₂).

AMOSTRA

UMIDADE ESTIMADA (%)	MASSA DA AMOSTRA (g)
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

ENSAIO

- Determinar a massa;
- Colocar amostra na câmara do aparelho;
- Introduzir duas esferas de aço e a ampola de carbureto;
- Agitar o aparelho;
- Efetuar leitura da pressão manométrica;
- Verificar tabela de aferição própria do aparelho;
- Encontrar h_1 .

Obs.: Se a leitura for menor do que 0,2 kg/cm² ou maior do que 1,5 kg/cm², repetir o ensaio com a massa da amostra imediatamente superior ou inferior, respectivamente;

RESULTADO

$$h = \frac{h_1}{100 - h_1} \times 100 \text{ (\%)}$$

Onde:

h = teor de umidade em relação a massa seca (%);

h_1 = umidade dada pelo aparelho em relação à amostra total úmida (%).

1.7- PRÁTICA 7 - IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS EM AGREGADO MIÚDO – NBR NM 49:2001

APARELHAGEM

- balança com capacidade maior ou igual a 1 kg e sensibilidade de 0,01g;
- provetas (10 e 100 ml) e béquer (1 litro);
- frasco Erlenmeyer (250ml);
- funil;
- papel filtro;
- tubos Nessler (100 ml).

REAGENTES E SOLUÇÕES

- Água destilada;
- Hidróxido de sódio (90 a 95% de pureza);
- Ácido tânico;
- Álcool (95%).

Preparo das soluções:

- Solução de hidróxido de sódio a 3% (30g hidróxido de sódio + 970g de água);
- Solução de ácido tânico a 2% (2g de ácido tânico + 10ml de álcool + 90ml de água);
- **Solução padrão** - 3 ml da solução de ácido tânico com 97 ml da solução de hidróxido de sódio; agitar e deixar em repouso durante (24 ± 2) h em ambiente escuro.

AMOSTRA

200 g de agregado miúdo seco ao ar livre.

ENSAIO

- Colocar a amostra e 100ml da solução de hidróxido de sódio num frasco de Erlenmeyer;
- Agitar e deixar em repouso durante (24 ± 2) h em ambiente escuro;
- Filtrar a solução, recolhendo-a em tubo Nessler.

RESULTADO

Comparar a cor da solução obtida com a da solução padrão, observando se é mais clara, mais escura ou igual a da solução padrão.

Obs.: No caso da solução resultante da amostra apresentar cor mais escura que a da solução padrão, a areia é considerada suspeita e deverão ser procedidos ensaios de qualidade conforme NBR 7221.

1.8 - PRÁTICA 8 - INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO - NBR-6467:2006

DEFINIÇÕES

Inchamento de agregado miúdo: Fenômeno de variação do volume aparente provocado pela adsorção de água livre pelos grãos e que incide sobre sua massa unitária.

Coefficiente de Inchamento: quociente entre os volumes úmido e seco de uma mesma massa de agregado.

Umidade crítica: Teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio.

Coefficiente de inchamento médio: Coeficiente utilizado para encontrar o volume da areia úmida a ser medido, quando a umidade do agregado estiver acima da umidade crítica.
É expresso pelo valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e aquele correspondente à umidade crítica.

APARELHAGEM

- encerado de lona;
- balanças com capacidade de 50 kg e resolução de 100 g e com capacidade de 200 g e resolução de 0,01 g;
- recipiente padronizado (NBR 7251);
- régua;
- estufa;
- cápsulas com tampa;
- concha ou pá;
- proveta graduada.

AMOSTRA

Dobro do volume do recipiente.

ENSAIO

- Secar a amostra em estufa até constância de massa;
- Resfriá-la sobre a lona e homogeneizar;
- Determinar sua massa unitária conforme NBR 7251;
- Adicionar água sucessivamente para umidades de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%.
- Para cada adição de água:
 - ⇒ homogeneizar a amostra;
 - ⇒ determinar sua “massa unitária úmida”;
 - ⇒ coletar material em cápsulas para determinação da umidade em estufa.

RESULTADOS

1. Para cada massa unitária determinada, calcular o teor de umidade do agregado.
2. Para cada teor de umidade, calcular:

$$CI = \frac{V_h}{V_s} = \frac{\mu}{\mu_h} \times \frac{(100 + h)}{100}$$

onde:

CI = coeficiente de inchamento;

h = umidade do agregado (%);

μ = massa unitária do agregado seco (kg/dm³);

μ_h = massa unitária do agregado com h% de umidade (kg/dm³).

3. Assinalar os pares de valores (h, V_h/V_s) em gráfico, e traçar a curva de inchamento;
4. Traçar a tangente a curva, paralela ao eixo das umidades, pelo ponto de CI máximo;
5. Traçar a corda que une a origem de coordenadas ao ponto de tangência da reta traçada anteriormente (CI máximo);
6. Traçar nova tangente à curva, paralela a esta corda, e determinar:
 - A **umidade crítica** que corresponde, na abscissa, ao ponto de interseção das duas tangentes;
 - O **coeficiente de inchamento médio** que corresponde à média aritmética entre os CI máximos e aquele correspondente à umidade crítica.

Observações:

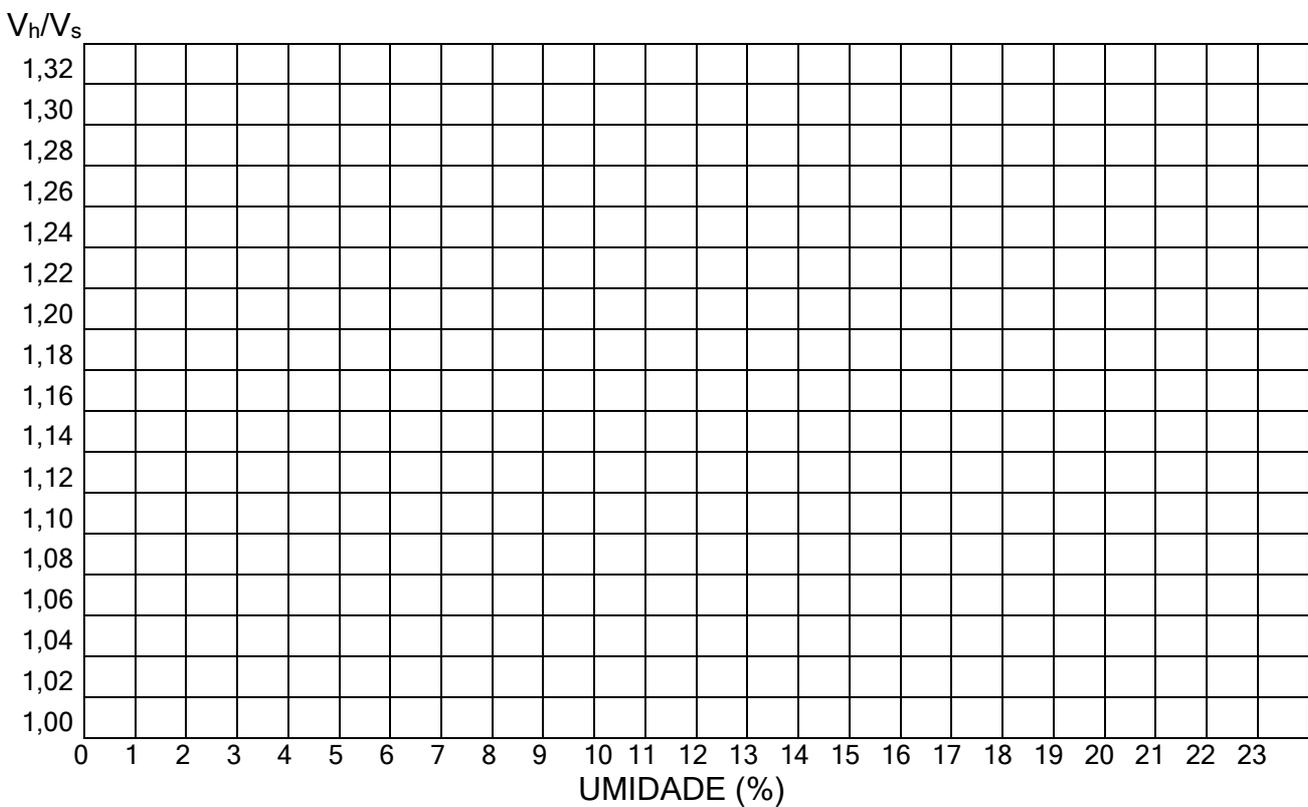
1. O coeficiente de inchamento médio é empregado para correção do **volume** do agregado miúdo;
2. Seu emprego é adequado quando a umidade do agregado é **superior ou igual** à umidade crítica.

EXEMPLO

O ensaio de inchamento de um agregado miúdo feito segundo a NBR 6467 apresentou os seguintes resultados:

h (%)	μ (kg/dm ³)	CI
0,0	1,51	
0,5	1,41	
1,0	1,31	
2,0	1,24	
3,0	1,23	1,26
4,0	1,24	1,27
5,0	1,24	1,28
7,0	1,28	1,26
9,0	1,31	1,26
12,0	1,37	1,23

- Trace a curva de inchamento da areia acima estudada;
- Determine a umidade crítica do agregado;
- Determine o inchamento médio agregado.



umidade crítica = _____

coeficiente de inchamento médio = _____

2 - PRÁTICA 9 - MISTURA DE AGREGADOS

2.1 - CARACTERÍSTICAS DA MISTURA

A mistura de dois ou mais agregados implica necessariamente uma composição granulométrica que depende das granulometrias individuais de cada um deles e da proporção estabelecida para a mistura.

Assim, a percentagem retida acumulada da mistura em cada peneira é:

$$M_{\#i} = a A_{\#i} + b B_{\#i} + \dots + f F_{\#i}$$

Onde:

$M_{\#i}$ - percentagem retida acumulada da mistura na peneira i

$A_{\#i}$ - percentagem retida acumulada do agregado A na peneira i

$B_{\#i}$ - percentagem retida acumulada do agregado B na peneira i

$F_{\#i}$ - percentagem retida acumulada do agregado F na peneira i

a - percentagem do agregado A na mistura

b - percentagem do agregado B na mistura

f - percentagem do agregado F na mistura

Analogamente, também o módulo de finura da mistura é:

$$MF_M = a MF_A + b MF_B + \dots + f MF_F$$

2.2 - EXERCÍCIOS

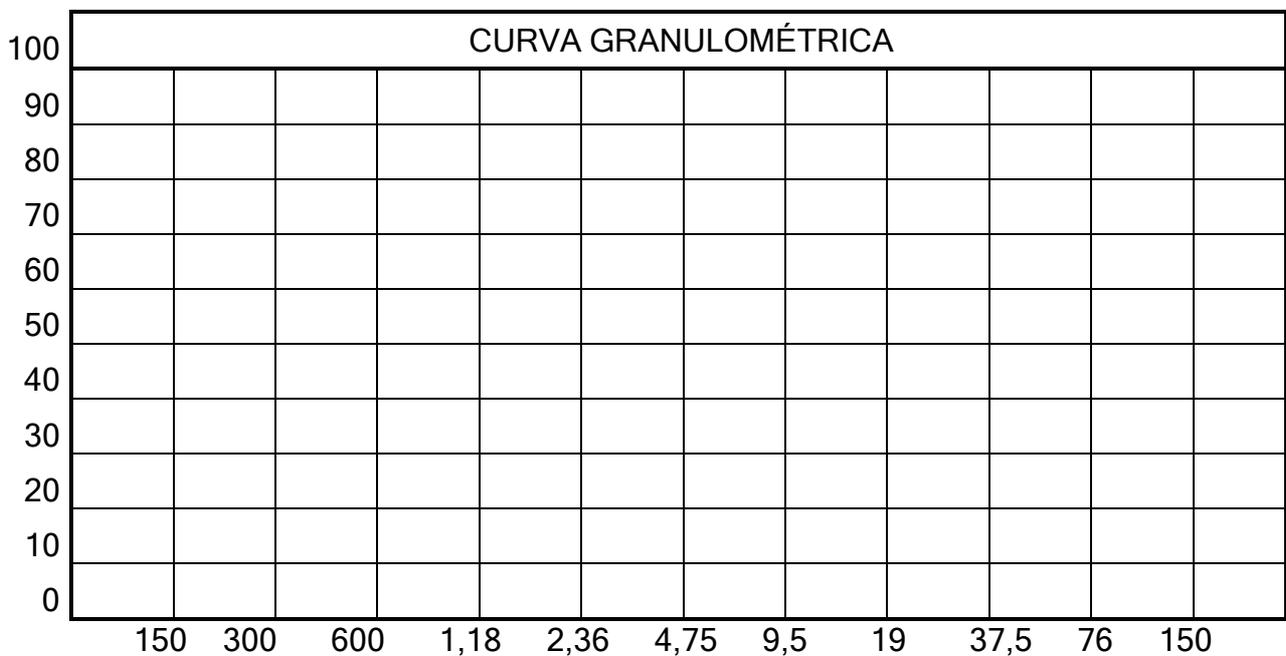
1) Determinar a curva granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima característica de uma mistura de 52 kg do agregado A, 91,8 kg do agregado B e 60 kg do agregado C, cujas granulometrias e características físicas são apresentadas nas tabelas.

Pede-se também o volume ocupado por cada um dos materiais após a secagem.

PENEIRA (mm)	AGREGADO A	AGREGADO B	AGREGADO C
75			
63			
50			
37,5			2400
31,5			2000
25			9000
19			2000
12,5			1850
9,5		750	1400
6,3		650	1000
4,75		1000	350
2,36	20	1150	
1,18	80	750	
600 μm	450	450	
300 μm	300	150	
150 μm	100	100	
MASSA TOTAL	1.000	5.000	20.000

MASSA ESPECÍFICA (kg/dm^3)	2,65	2,69	2,80
MASSA UNITÁRIA (kg/dm^3)	1,60	1,45	1,40
UMIDADE (%)	4,0	2,0	0

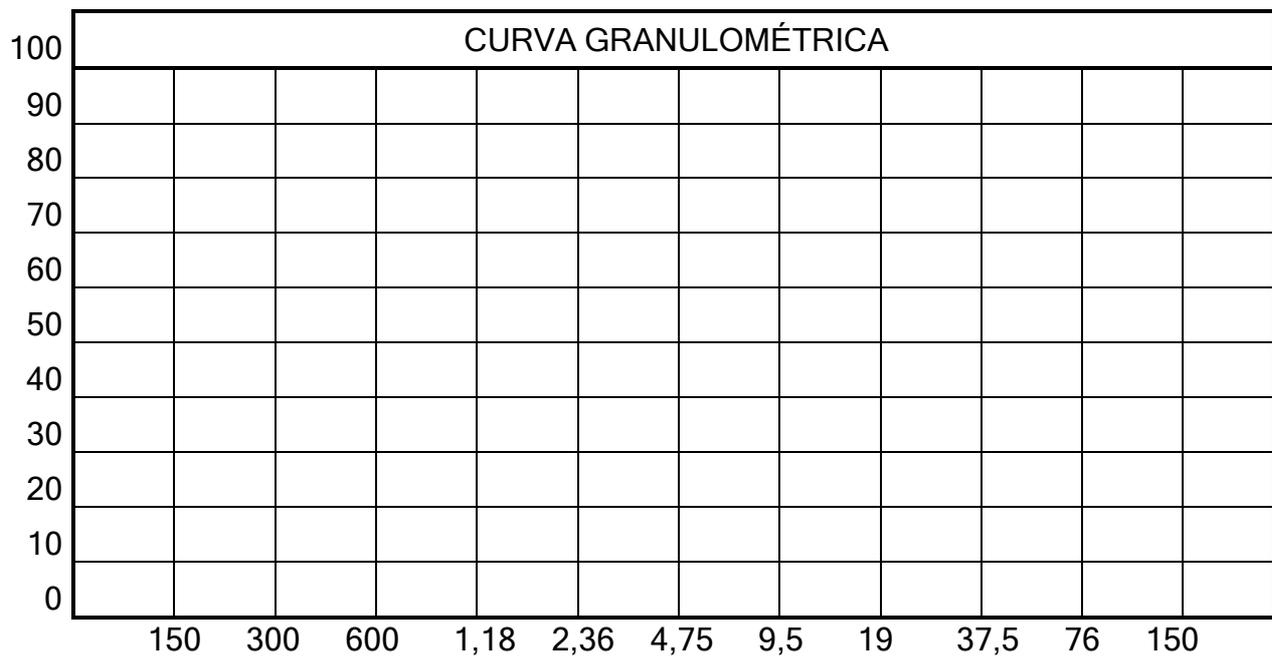
PENEIRA		% retida			% ret. acumulada			% na mistura			% ret. acum.
Nº	mm	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	
	50										
	37,5										
	31,5										
	25										
	19										
	12,5										
	9,5		15,0			15					
	6,3		13,0			28					
	4,75		20,0			48					
	2,36	2,0	23,0		2	71					
	1,18	8,0	15,0		10	86					
	600 µm	45,0	9,0		55	95					
	300 µm	30,0	3,0		85	98					
	150 µm	10,0	2,0		95	100					
	MF										
	D _{max}										



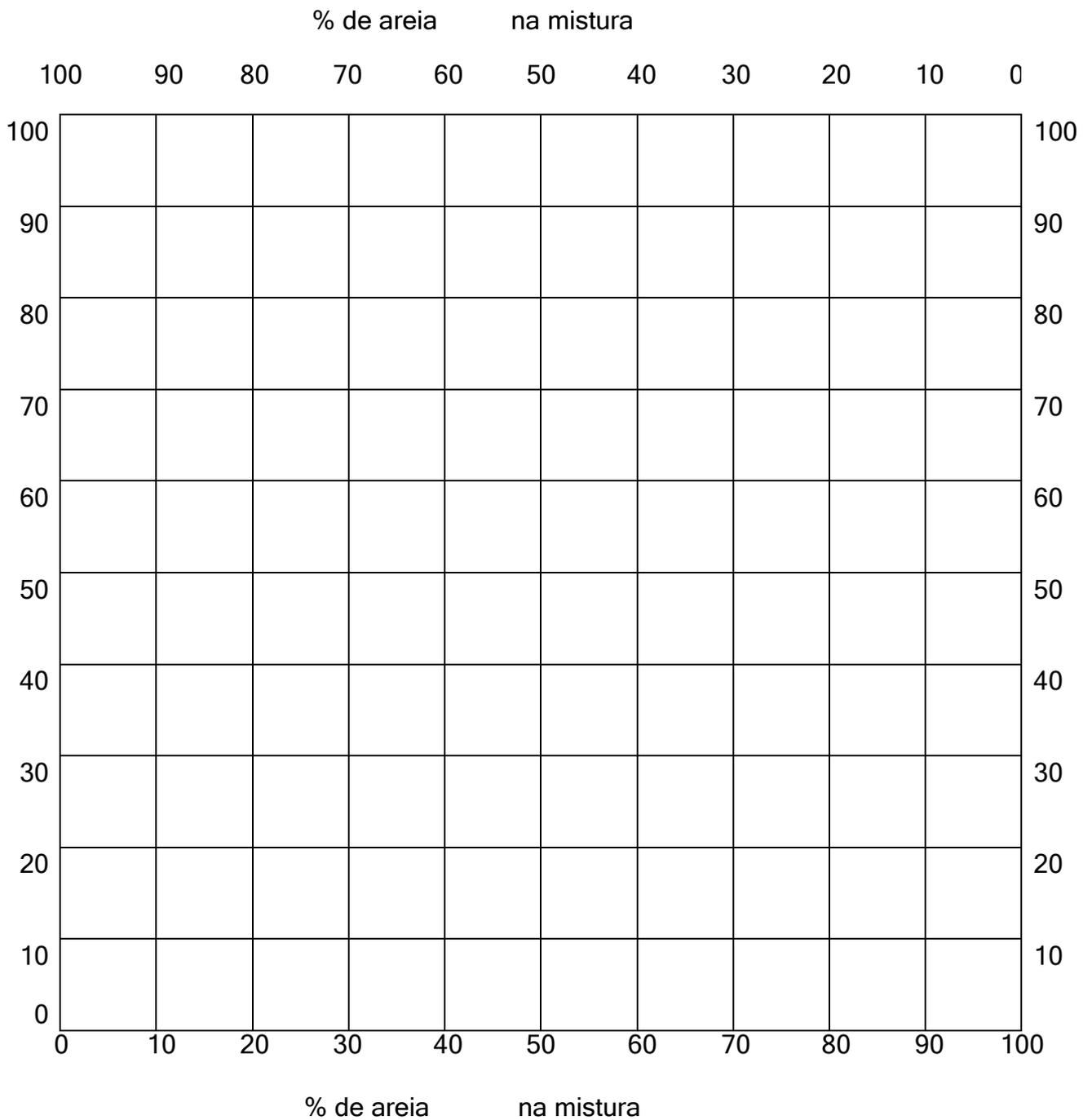
2) Necessita-se, na obra, de uma areia cuja granulometria obedeça às especificações da zona ótima. Pede-se determinar a mistura mais econômica entre as areias A e B de modo a atender a exigência, sabendo-se que a jazida da areia A está mais afastada da obra.

Representar graficamente a composição granulométrica da mistura e dos limites especificados.

PENEIRA (mm)	% RETIDA ACUMULADA		Zona ótima	
	A	B	Limite inferior	Limite superior
6,3	-	-	0	0
4,75	-	6	0	5
2,36	-	53	10	20
1,18	6	70	20	30
600 µm	32	83	35	55
300 µm	71	95	65	85
150 µm	87	99	90	95



RESOLUÇÃO GRÁFICA



3 - EXERCÍCIOS

- 1) Qual a massa unitária da areia usada no ensaio em que o volume dos grãos, contido em um recipiente de 15dm^3 , é de $8,25\text{ dm}^3$ e sua massa específica é de $2,62\text{ kg/dm}^3$?
- 2) Qual o percentual de vazios de um material cuja massa específica é $2,50\text{ kg/dm}^3$ e massa unitária é $0,85\text{ kg/dm}^3$?
- 3) Qual o volume de água que existe em 90 kg de areia com umidade de $3,2\%$?
- 4) Qual o volume de brita que deve ser pedido no depósito sabendo-se que serão necessárias 8 toneladas dessa brita na obra?

O ensaio para determinação da massa unitária em estado solto apresentou os seguintes valores:

Massa do recipiente = $9,7\text{ kg}$
 Massa do recipiente + amostra = $38,2\text{ kg}$
 Volume do recipiente = $20,0\text{ dm}^3$

- 5) Quantas toneladas de brita cabem num silo com as seguintes dimensões:

Base = $2,5\text{ m} \times 1,4\text{ m}$
 Altura = $1,5\text{ m}$

Sabe-se que a massa unitária da brita é $1,42\text{ kg/dm}^3$

- 6) Para a execução de um filtro serão necessários 3 kg de areia com grãos maiores que $1,18\text{ mm}$. Quantos quilos de areia serão necessários, se a areia apresenta a seguinte granulometria:

PENEIRA	MASSA RETIDA (g)
4,75 mm	15
2,36 mm	110
1,18 mm	248
600 μm	115
300 μm	92
150 μm	85
TOTAL	800

- 7) Qual a massa de água necessária para conferir a 130 kg de uma areia seca um inchamento de 28% , sabendo-se que:

$I = 0\%$ -----> $\mu = 1,51\text{ kg/dm}^3$
 $I = 28\%$ -----> $\mu_h = 1,24\text{ kg/dm}^3$
 Massa específica = $2,65\text{ kg/dm}^3$

- 8) Qual a massa de água que está incorporada em 220 kg de areia, considerando-se a mesma no ponto de umidade crítica? (CI e Umidade crítica igual ao exemplo)

- 9) Qual a massa de areia úmida que deve ser colocada numa betoneira para que se obtenha massa correspondente a 300 kg de areia seca? Sabe-se que a umidade da areia é 3,5%.
- 10) No cálculo de consumo de materiais, achamos que seriam necessários 4.500 kg de areia seca para preparação do concreto. Qual o volume mínimo a adquirir, sabendo-se que a umidade da areia é de 4,5%? (CI e Umidade crítica igual ao exemplo)
- 11) Qual o volume seco de areia trazido por uma caçamba com a capacidade de 8m^3 , sabendo que a areia transportada tem a umidade de 5,0%? (CI e Umidade crítica igual ao exemplo)
- 12) Qual a massa seca de 5m^3 de areia, considerando-se que a mesma apresenta uma umidade de 3,0%? (CI e Umidade crítica igual ao exemplo)
- 13) Qual o volume de areia úmida na umidade crítica ocupado por 100 kg de areia seca ? (CI e Umidade crítica igual ao exemplo)
- 14) Uma caixa de base quadrada com 0,5 m de lado e 0,4 m de altura está cheia de areia seca. Qual o crescimento de altura que deve sofrer a caixa se tiver que armazenar a mesma quantidade de areia, porém umedecida?
- Condições de ensaio: $h = 3,0\%$ e $l = 25\%$.
- 15) Uma argamassa deve ser preparada com 27 litros de água no total. Na mistura foram colocados 105 kg de areia com 5% de umidade. Qual a quantidade de água a ser medida para manter a umidade prevista da mistura?
- 16) Sabe-se que em uma argamassa usaram-se 30 litros de água para 50 kg de cimento e 150 kg de areia seca. Qual a quantidade de água a colocar num determinado volume de argamassa, com estas mesmas características, quando empregamos 260 dm^3 de areia com 3% de umidade? Considerar a areia com inchamento de 27% e $\mu = 1,51\text{ kg/dm}^3$
- 17) Se misturamos 122 kg da areia A, com umidade de 2,3%, e 148 kg da areia B, com umidade de 3,2%, responda:
- a) qual a quantidade de água existente na referida mistura?
 - b) qual a umidade da mistura?

18) Dispomos no canteiro de obra de 140 dm³ de areia A e 240 dm³ de areia B com características do item anterior. Pergunta-se:

- a) qual a quantidade total de areia seca?
- b) qual a quantidade total de água contida nas referidas areias?

(Cl e Umidade crítica igual ao exemplo)

19) Temos 60 litros de areia A com uma umidade de 3%. Precisamos misturá-la com 120 kg de uma outra areia B com umidade de 4%. Qual a massa da mistura seca? E sua umidade?

Dados	AREIA A	AREIA B
h (%)	3,0	4,0
l (%)	23,0	25,0
μ (kg/dm ³)	1,5	1,47

RESPOSTAS

- 1) $\mu = 1,44 \text{ kg/dm}^3$
- 2) % v = 66%
- 3) $V_{ag} = 2,8 \text{ l}$
- 4) $V = 5,6 \text{ m}^3$
- 5) $M = 7,46 \text{ t}$
- 6) $M_{areia} = 6,4 \text{ kg}$
- 7) $M_{ag} = 6,6 \text{ kg}$ (h = 5,1%)
- 8) $M_{ag} = 6 \text{ kg}$ ($M_s = 214 \text{ kg}$)
- 9) $M_h = 310,5 \text{ kg}$
- 10) $V_h = 3,8 \text{ m}^3$
- 11) $V_s = 6,3 \text{ m}^3$
- 12) $M_s = 6,0 \text{ t}$
- 13) $V_h = 84,1 \text{ dm}^3$
- 14) $\Delta H = 0,1 \text{ m}$
- 15) $M_{ag} = 22 \text{ l}$
- 16) $V_{ag} = 52,6 \text{ l}$ p/ $\mu = 1,51 \text{ kg/dm}^3$
- 17) a) $M_{ag} = 7,33 \text{ kg}$
b) h = 2,8%
- 18) a) $M_s = 455,7 \text{ kg}$
b) $M_{ag} = 13,1 \text{ kg}$
- 19) $M = 188,56 \text{ kg}$ e h = 3,6 %

CIMENTO - ESPECIFICAÇÕES

ESPECIFICAÇÕES	NBR	NBR 5732			NBR 11578			NBR 5735			NBR 5736		NBR 5733	
		CP I	CP I-S		CP II-E	CP II-Z	CP II-F	CP III			CP IV		CP V	
DETERMINAÇÕES QUÍMICAS (%)														
Resíduo Insolúvel (RI)	5744 ²	≤1,0	≤ 5,0		≤ 2,5	≤16,0	≤ 2,5	≤ 1,5			-		≤ 1,0	
Perda ao Fogo (PF)	5743 ²	≤ 2,0	≤ 4,5		≤ 6,5			≤ 4,5			≤4,5		≤ 4,5	
Óxido de Magnésio (MgO)	5742 ²	≤ 6,5			≤ 6,5			-			≤ 6,5		≤ 6,5	
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	5745	≤ 4,0			≤ 4,0			≤ 4,0			≤ 4,0		≤ 3,5 p/C ₃ A ≤ 8%	
Anidrido Carbônico (CO ₂)	11583	≤1,0	≤ 3,0		≤5,0			≤ 3,0			≤ 3,0		≤3,0	
EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS														
Pega - tempo de início (h)	11581	≥ 1			≥ 1			≥ 1			≥ 1		≥ 1	
- tempo de fim (h) ¹	11581	≤10			≤ 10			≤12			≤ 12		≤10	
Expansibilidade - a quente (mm)	11582	≤5			≤ 5			≤ 5			≤ 5		≤ 5	
- a frio (mm) ¹	11582	≤ 5			≤ 5			≤ 5			≤ 5		≤ 5	
Teor de Mat. Carbonático (%) ¹		-			0-10	0-10	6-10	-			-		= 5	
Teor de Escória (%) ¹	5754	-			6-34	-	-	35-70			-		-	
Teor de Material Pozolânico	8347	-			-	6-14	-				-		-	
Teor mat. poz.+esc.+carb.(%) ¹		0	≤ 5		-			-			--		-	
Teor de Enxofre - sulfeto (%) ¹	5746	-			-			= 1,0			-		-	
CLASSE		25	32	40	25	32	40	25	32	40	25	32		
Finura - resíduo pen 75µm (%)	11579	≤12,0		≤10,0	≤ 12,0			≤10			≤ 8,0		≤ 8,0	
- área específica (m ² /kg)	7224	≥ 240	≥ 260	≥ 280	≥240	≥260	≥280	-			-		≥ 300	
Resistência à Compressão (MPa)	7215												≥ 14 (1 dia)	
3 dias		≥ 8	≥10	≥ 15	≥ 8	≥ 10	≥ 15	≥8	≥10	≥ 12	≥8	≥10	≥24	
7 dias		≥ 15	≥20	≥ 25	≥ 15	≥ 20	≥25	≥15	≥ 20	≥ 23	≥15	≥20	≥34	
28 dias		≥ 25	≥ 32	≥40	≥ 25	≥ 32	≥ 40	≥25	≥32	40	≥25	≥32	-	
91 dias ¹		-	-	-	-	-	-	≥ 32	≥40	≥48	≥32	≥40	-	

1 - Determinação não exigida - Facultativo

2 - Para cimentos pozolânicos NBR 83

2 - CARACTERIZAÇÃO

2.1 - PRÁTICA 10 - FINURA NA PENEIRA 75 μm (nº 200)- NBR 11579:2012

DEFINIÇÃO

Finura na peneira 75 μm - percentagem de cimento em massa cujos grãos são superiores a 75 μm

APARELHAGEM

- balança com resolução de 0,01 g;
- peneira com abertura de malha de 0,075 mm com fundo e tampa;
- pincéis com largura de 30 mm a 35 mm e de 5 mm a 6 mm;
- bastão de PVC com diâmetro de 20 mm e comprimento de 250 mm;
- cronômetro.

AMOSTRA

50 g de cimento para peneiramento manual ou 20 g para peneiramento mecânico

ENSAIO

Peneiramento manual:

- colocar a amostra sobre a tela da peneira que deve estar encaixada no fundo;
- promover agitação até que os grãos mais finos passem quase que totalmente pela tela - 3 min a 5 min;
- tampar a peneira, retirar o fundo e dar golpes suaves no rebordo exterior com o bastão;
- limpar, com o pincel de 30 mm, toda a superfície inferior da tela;
- encaixar o fundo na peneira e continuar o peneiramento por mais 15 min a 20 min;
- colocar a tampa e continuar com peneiramento mais enérgico, inclinando o conjunto - 60 s;
- limpar a tela da peneira com o pincel de 30 mm;
- repetir a operação até que a massa de cimento que passa durante um minuto de peneiramento contínuo seja inferior a 0,05 g;
- determinar a massa do material retido na peneira.

Obs.: o peneiramento mecânico é realizado durante 3 min com o peneirador aerodinâmico, cuja depressão na câmara de peneiramento é de 1960 Pa (200 mm de coluna d'água), com fluxo de ar de 48 m³/h a 58 m³/h e velocidade de varredura de 24 rpm a 36 rpm.

RESULTADO

Calcular o índice de finura do cimento pela expressão:

$$F = \frac{R \times C}{M} \times 100$$

onde:

F = índice de finura do cimento, em percentagem

R = resíduo retido na peneira 0,075 mm, em gramas

M = massa inicial do cimento

C = fator de correção da peneira utilizada na ensaio

Obs.: a) determinar o índice de finura com aproximação de 0,1%;
b) resultado obtido em uma determinação.

DETERMINAÇÃO

M	massa inicial do cimento (g)	50
R	resíduo na peneira 0,075 mm (g)	
C	fator de correção da peneira	
F	índice de finura na peneira 75 µm	

2.2 - PRÁTICA 11 - CONSISTÊNCIA NORMAL - NBR 16606:2018

APARELHAGEM

- balança com capacidade mínima de 1000 g e resolução de 0,1 g;
- misturador mecânico;
- espátula;
- molde troncocônico e placa de vidro;
- aparelho de Vicat com sonda de Tetmajer acoplada.
- cronômetro

AMOSTRA

Pasta constituída de 500 g de cimento e água em quantidade necessária.

ENSAIO

- preparar a pasta com o seguinte procedimento:
 - 1) introduzir a água no recipiente do misturador, medida com precisão de 0,5 g;
 - 2) adicionar lentamente a quantidade de cimento e aguardar 30 s;
 - 3) ligar o misturador em velocidade baixa durante 30 s;
 - 4) parar a mistura e raspar as paredes da cuba, fazendo com que toda a pasta aderida a elas fique no fundo; realizar essa operação em 15 s;
 - 5) ligar o misturador na velocidade alta durante 1 min.
 - introduzir uma quantidade da pasta no molde troncocônico colocado sobre uma placa de vidro com auxílio da espátula, regularizando e alisando a superfície;
 - no aparelho de Vicat, colocar a sonda de Tetmajer em contato com a superfície da pasta e, após 45 segundos do final de amassamento da pasta, soltar a haste da sonda;
 - após 30 segundos, efetuar a leitura da distância, em milímetros, da extremidade da sonda ao fundo da forma - índice de consistência;
 - a consistência da pasta é considerada normal quando o índice de consistência for igual a $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$
- Obs.:** a) enquanto não se obtiver este resultado, preparam-se diversas pastas, variando a quantidade de água e utilizando nova porção de cimento em cada tentativa.
 b) a temperatura ambiente deve ser de $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar igual ou superior a 50%.

RESULTADO

A água da pasta de consistência normal é expressa em percentagem de massa relativa ao cimento, arredondada ao décimo mais próximo.

EXEMPLO

Massa de cimento = 500 g

Massa de água: a ser determinada por tentativas

Consistência normal: pasta em que a sonda de Tetmajer fica a $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ da placa de vidro da base.

Determinação	Água (g)	Índice Consistência (mm)
1ª		
2ª		
3ª		

A água da pasta de consistência normal é expressa em percentagem relativa à massa do cimento.

2.3 - PRÁTICA 12 - TEMPOS DE PEGA - NBR 16607:2018

APARELHAGEM

- balança com capacidade mínima de 1000 g e resolução de 0,1 g;
- misturador mecânico;
- espátula;
- molde troncocônico e placa de vidro;
- aparelho de Vicat com agulha de Vicat acoplada.
- Câmara úmida

AMOSTRA

Pasta constituída de 500 g de cimento e água em quantidade necessária para obter a consistência normal.

ENSAIO

- preparar a pasta com consistência normal;
 - introduzir uma quantidade da pasta no molde troncocônico colocado sobre uma placa de vidro com auxílio da espátula, regularizando e alisando a superfície;
 - no aparelho de Vicat, colocar a agulha de Vicat em contato com a placa de vidro, ajustando o indicador no zero da escala graduada;
 - descer a agulha sobre a pasta, sem choque e sem velocidade inicial;
 - efetuar a leitura 30 segundos após o início de penetração da agulha na pasta;
 - o início de pega é constatado no momento em que a distância entre a agulha de Vicat e a placa de base for de $4 \pm \text{mm}$;
 - após a constatação do início da pega, fazer leituras a cada 10 minutos;
 - o fim de pega é o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetrar 0,5 mm na pasta.
- Obs.:** a temperatura ambiente pode ser mantida no intervalo de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar igual ou superior a 70%.

RESULTADOS

Os tempos de início e fim de pega são os intervalos decorridos entre o instante em que se lançou a água de amassamento à pasta e os instantes em que se constataram o início e o fim de pega.

- Obs.:** a) os tempos de início e fim de pega são expressos em horas e minutos, com aproximação de 5 minutos para o início de pega e 15 minutos para o fim de pega;
- b) resultados obtidos em uma única determinação.

DETERMINAÇÃO

a) Preparação da pasta:

Massa de cimento = 500 g

Massa de água = _____ g (necessária para consistência normal)

b) Tempos (em horas e minutos)

ATIVIDADE	HORÁRIO	INTERVALO
adição de água à pasta		-
início de pega		
fim de pega		

2.4 - PRÁTICA 13 - EXPANSIBILIDADE DE LE CHATELIER - NBR 11582:2016

APARELHAGEM

- agulha de Le Chatelier;
- espátula;
- placas de vidro, quadradas, de 5 cm de lado;
- óleo mineral.

AMOSTRA

Pasta constituída de 500 g de cimento e água em quantidade necessária para obter a consistência normal.

ENSAIO

- preparar três agulhas de Le Chatelier para cada ensaio com o seguinte procedimento:
 - 1) colocar a agulha sobre a placa de vidro lubrificada com óleo mineral e preencher o cilindro com a pasta;
 - 2) regularizar o topo do cilindro;
 - 3) cobri-lo com uma placa de vidro lubrificada.
- imergir o conjunto agulha e placas de vidro em água potável durante (20 ± 4) horas;

Cura a frio:

- retirar as placas de vidro e deixar três agulhas imersas em água, durante seis dias, de tal modo que as extremidades de suas hastes fiquem fora da água;
- efetuar as medidas dos afastamentos das extremidades das hastes nas seguintes condições:
 - ⇒ logo após a moldagem dos corpos-de-prova;
 - ⇒ após sete dias consecutivos em água a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$

Cura a quente:

- retirar as placas de vidro e colocar as outras três agulhas imersas em água em um recipiente próprio para o aquecimento;
- aquecer progressivamente a água deste recipiente cuja ebulição deve começar entre 15 min e 30 min e permanecer durante o tempo necessário, e superior a 5 horas, para se determinar a expansibilidade à quente;
- efetuar as medidas dos afastamentos das extremidades das hastes nas seguintes condições:
 - ⇒ imediatamente após o início do aquecimento da água;
 - ⇒ após três horas de ebulição;
 - ⇒ de duas em duas horas, até que não se verifiquem, em duas medições consecutivas, variações de afastamento das extremidades das hastes.

RESULTADOS

A expansibilidade a frio é a diferença entre as medidas de afastamentos das extremidades das hastes das agulhas submetidas a cura a frio.

A expansibilidade a quente é a diferença entre as medidas do último afastamento das extremidades das hastes, determinado nos intervalos de duas em duas horas, e do afastamento determinado imediatamente após o início do aquecimento da água na condição de cura a quente.

Observações:

- O resultado da expansibilidade a frio e a quente é a média das três determinações respectivas ao tipo de cura expresso em milímetros, com aproximação de 0,5 mm.
- a expansibilidade a frio visa verificar a influência do MgO e a expansibilidade a quente, a influência do CaO.

2.5 - PRÁTICA 14 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - NBR 7215:2019

APARELHAGEM

- balança com capacidade mínima de 1000 g e resolução de 0,1 g;
- misturador mecânico;
- espátula, paquímetro, régua metálica e placas de vidro;
- molde cilíndrico com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm;
- soquete
- máquina de ensaio de compressão.

AMOSTRA

Mistura constituída de cimento Portland e areia normal (NBR 7214/ EB 1133) nas seguintes proporções:

MATERIAL	QUANTIDADE
Cimento	624 ± 0,4g
Água	300 ± 0,2g
areia normal	
1,2 mm - fração grossa	468 ± 0,3g
0,6 mm - fração média grossa	468 ± 0,3g
0,3 mm - fração média fina	468 ± 0,3g
0,15 mm - fração fina	468 ± 0,3g

ENSAIO

- preparar a mistura dos materiais no misturador mecânico;
- moldar quatro corpos-de-prova para determinação da resistência em cada idade (3, 7 e 28 dias);
- proceder a cura inicial em câmara úmida por um período de 20 a 24 horas;
- retirar os corpos-de-prova dos moldes e imergi-los em água saturada de cal no tanque da câmara úmida até o instante do ensaio;
- capear os topos dos corpos-de-prova com mistura de enxofre a quente de maneira a corrigir as possíveis imperfeições das superfícies;
- romper os corpos-de-prova à compressão na idade determinada atendendo às seguintes tolerância:

Idade de ruptura	tolerância
24 h	± 30 min
03 dias	± 1h
07 dias	± 2h
28 dias	± 4h
91 dias	± 1dia

- Obs.:** a) a velocidade no carregamento da máquina deve ser controlada e igual a 0,25 MPa/s \pm 0,05 MPa/s;
 b) a temperatura ambiente deve ser de 24°C \pm 2°C e a umidade relativa do ar igual ou superior a 50%;
 c) a câmara úmida deve atender às prescrições da NBR 9479 (EB 1684).

RESULTADOS

Calcula-se a resistência à compressão de cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção de carregamento. O resultado deve ser expresso em MPa.

Calcula-se a resistência média da série de quatro corpos-de-prova de cada idade. O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo.

Calcula-se, em percentagem, o desvio relativo máximo para cada série, dividindo-se o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta dessa média. A percentagem deve ser arredondada ao décimo mais próximo.

- Obs.:** Quando o desvio for superior a 6% calcula-se uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no certificado, com asterisco. Persistindo o fato, eliminam-se os CPs de todas as idades, devendo o ensaio ser totalmente refeito.

DETERMINAÇÃO

Calcular a resistência à compressão do cimento para uma série de corpos-de-prova.

idade: _____

CP	Carga (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
01		
02		
03		
04		
Resistência média (MPa)		
Desvio relativo máx. (%)		

Resistência à compressão = carga de ruptura / área da seção do CP

EXERCÍCIO

Calcular a resistência média à compressão de um cimento CP II-Z 32, conforme resultados de ensaios transcritos abaixo e verificar o valor mínimo da resistência aos 7 dias conforme especificação.

:

ENSAIO I				
CP	Resistência em MPa (28 dias)	AFAST.	CP	AFAST.
1	34,8			
2	31,5			
3	33,0			
4	35,1			
MÉDIA		-		-
DESVIO		-		-

Média: _____ MPa

Aceitação: SIM
 NÃO

Desvio _____ %

ENSAIO II				
CP	Resistência em MPa (07 dias)	AFAST.	CP	AFAST.
1	19,8			
2	18,5			
3	20,3			
4	18,5			
MÉDIA		-		-
DESVIO		-		-

Média: _____ MPa

Aceitação: SIM
 NÃO

Desvio _____ %

III - CONCRETO

1 - CONSUMO DE MATERIAIS

Traço - expressão da composição do concreto, indicada pelas proporções dos materiais constituintes, em massa, em relação a unidade do cimento.

Expressão do traço - 1: a: b: x

onde:

- a** corresponde à quantidade em massa do agregado miúdo;
- b** corresponde à quantidade em massa do agregado graúdo;
- x** corresponde à quantidade de água.

É importante conhecer o consumo de cada material para fins de aquisição e determinação dos custos

Admite-se desprezível o volume de vazios do concreto fresco e adensado; logo, o volume do concreto é a somatória dos volumes de sólidos dos materiais que o constituem, mais o volume da água.

$$V_{\text{conc}} = V_{\text{cim}} + V_{\text{areia}} + V_{\text{brita}} + V_{\text{água}}$$

Onde o volume do cimento, areia e brita é a relação entre a massa seca e a massa específica de cada material.

Para o metro cúbico de concreto (1000 dm^3), a contribuição dos materiais constituintes é:

$$\frac{M_c}{\rho_c} + \frac{aM_c}{\rho_a} + \frac{bM_c}{\rho_b} + \frac{xM_c}{\rho_{ag}} = 1000$$

Onde M e ρ representam respectivamente massa e massa específica de cada material.

O consumo de cimento por m^3 de concreto é:

$$M_c = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{a}{\rho_a} + \frac{b}{\rho_b} + x} \quad (\text{kg})$$

2 - MEDIÇÃO DOS MATERIAIS

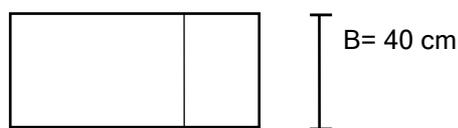
- **em massa** - utilizada em laboratório, nas centrais de concreto e em canteiros que dispõem de equipamento com balança;
- **em volume** - utilizada em obras que não dispõem de equipamento com balança.

Sempre que os agregados estiverem úmidos, é necessário fazer a correção de suas quantidades quer em massa ou em volume, para que o traço permaneça inalterado. Deve-se corrigir também a quantidade de água a ser medida em função da quantidade contida nos agregados.

Para medição dos materiais em volume é preciso utilizar caixas ou padiolas adequadas, observando-se:

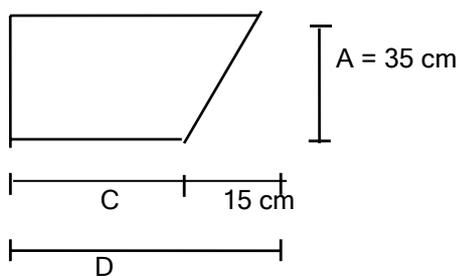
- utilizar número inteiro de caixas para cada material;
- o número de caixas é determinado considerando massa de 70 kg de agregado como valor máximo de referência para cada caixa;
- o volume de cada caixa é função do número de caixas para cada material;
- as dimensões e forma das caixas devem conduzir a maior produtividade; neste caso, sugere-se uma caixa de seção trapezoidal, conforme indicado:

Padiola para medida do agregado em volume



Para A = 35 cm e B = 40 cm

$$C = \frac{V_{pad}}{1,4} - 7,5$$



V_{pad} em dm^3 e C em centímetros

EXERCÍCIOS

Para resolução das questões, utilizar as características físicas dos materiais a seguir indicadas.

Materiais	Cimento	Areia fina	Areia grossa	Brita_{12,5}	Brita₁₉	Brita₂₅
Massa específica (kg/dm ³)	3,14	2,63	2,62	2,78	2,75	2,75
Massa unitária (kg/dm ³)	-	1,50	1,52	1,38	1,40	1,43
Umidade (%)	-	4,50	3,50	0,80	0,80	-
Inchamento (%)	-	30	27	-	-	-

- 1) Calcular as quantidades de materiais a serem adquiridos para a execução de uma estrutura cujo volume de concreto é 55 m³. O traço do concreto estudado para a obra é: 1: 2,20: 1,15: 2,52 (cimento, areia grossa, brita 12,5mm e brita 25mm), com relação água/cimento igual a 0,56.
- 2) Utilizando o traço acima, que volume de formas se encherá com o concreto de uma betonada em que se utilizam 3 sacos de cimento?
- 3) Quantas betonadas de um saco de cimento seriam necessárias para fabricar 1m³ de concreto?
- 4) Qual o percentual do volume de pasta (cimento + água) do concreto acima?
- 5) Qual o percentual do volume de argamassa (cimento + areia + água) do mesmo?
- 6) Uma obra solicitou 6m³ de concreto a uma Central. Quais as quantidades, em massa, dos materiais colocadas no caminhão betoneira para atender ao traço de 1: 2,0: 3,5: 0,50 (cimento, areia fina, brita 12,5mm e água)?

Obs.: os materiais na Central são medidos em massa úmida.

- 7) Para os materiais medidos em volume, quais as dimensões das padiolas, com seção trapezoidal, a serem confeccionadas para o uso do traço acima (questão 6), para betonadas de 2 sacos de cimento?
- 8) Fornecer as quantidades de materiais (cimento em sacos, areia, brita e água em volume) que se deve adquirir para fabricar 200m³ de concreto, sabendo-se que em cada betonada utilizam-se as seguintes quantidades de materiais nas condições de canteiro: cimento = 1 saco; areia fina = 87 kg; brita 19mm = 36 kg; brita 25mm = 118kg; água = 25 l.
- 9) Que volumes de materiais são necessários para produzir 5m³ de concreto, sabendo-se que em cada betonada deste concreto usam-se: cimento = 1 saco; areia fina = 85 dm³; brita 19mm = 52,8 dm³; brita 25mm = 83 dm³; água = 22 dm³, considerando-se as condições de canteiro.

10) Dado o traço de concreto 1: 2,15: 1,85: 2,80: 0,62, (cimento, areia grossa, brita 12,5 mm, brita 19 mm e água), pede-se calcular a quantidade em massa dos materiais (agregados e água) a serem colocados numa betoneira para 2 (dois) sacos de cimento, considerando:

- a) os agregados secos;
- b) os agregados na condição do canteiro.

11) Para o mesmo traço do item anterior pede-se a quantidade dos materiais em volume, considerando-se as condições do canteiro.

12) Na fabricação de um concreto de traço 1: 2,20: 4,50: 0,60 (cimento, areia fina, brita 25mm, água) verificou-se que o concreto produzido não correspondia ao volume esperado. Por um lapso, o encarregado não levou em consideração a umidade e o inchamento dos materiais. Determine:

- a) qual o traço realmente utilizado se os materiais foram medidos em massa.
- b) qual o traço realmente utilizado se os materiais foram medidos em volume;

13) Qual o traço adotado sabendo-se que os materiais medidos no canteiro foram:

- 02 sacos de cimento;
- 220kg de areia grossa;
- 150kg de brita 19mm;
- 250 kg de brita 25mm;
- 40 litros de água.

14) Calcular o traço de um concreto em que se misturaram:

- 01 saco de cimento;
- 1 padiola de areia fina c= 35 cm e d= 50 cm;
- 1 padiola de brita 19mm c= 30 cm e d= 45 cm;
- 2 padiolas de brita 25mm c= 21 cm e d= 36 cm;
- 24 litros de água.

RESPOSTAS

- 1) 361 sacos de cimento; 33 m³ de areia grossa; 15 m³ de brita 12,5 mm; 32 m³ de brita 25 mm.
- 2) V_{conc} = 0,46 m³
- 3) 7 betonadas.
- 4) Volume da pasta = 28,8% do volume do concreto.
- 5) Volume da argamassa = 56,3% do volume do concreto.
- 6) 2112 kg de cimento; 4414 kg de areia fina; 7451 kg de brita 12,5 mm; 807 l de água.
- 7) areia fina - 35 cm x 40 cm x (33,5 e 48,5) cm
brita 12,5 mm - 35 cm x 40 cm x (28,5 e 43,5) cm
- 8) 1509 sacos de cimento; 109 m³ de areia fina; 38 m³ de brita 19 mm; 125 m³ de brita 25 mm; 38 l de água.
- 9) 33 sacos de cimento; 2831 dm³ de areia; 1762 dm³ de brita 19 mm; 2762 dm³ de brita 25 mm; 732 l de água.

10 e 11)

material	traço correto	material seco	material nas condições de canteiro	
			em massa	em volume
cimento	1	2 sacos	2 sacos	2 sacos
areia grossa	2,15	215 kg	222,5 kg	179,6 l
brita 12,5 mm	1,85	185 kg	186,5 kg	134,1 l
brita 19 mm	2,80	280 kg	282,2 kg	200,0 l
água	0,62	62 l	50,8 l	50,8 l

- 12) a) 1: 2,10: 4,50: 0,70
b) 1: 1,69: 4,50: 0,68
- 13) 1: 2,12: 1,49: 2,50: 0,49
- 14) 1: 1,37: 1,47: 2,28: 0,55

3 - MÉTODOS DE DOSAGEM

Dosagem de concreto corresponde à determinação da proporção com que cada material entra na composição do concreto.

Método de dosagem corresponde ao procedimento adotado para determinação do traço de concreto, com o objetivo de atender às características essenciais que se espera do concreto no estado fresco e durante sua vida útil. São levadas em consideração as condições de preparo, de aplicação, de exposição e as especificações do projeto.

3.1 - PRÁTICA 15 - MÉTODO ACI

Baseia-se nas exigências de projeto (resistência), condição de exposição (durabilidade) e execução de obra (trabalhabilidade). Aqui será apresentado um procedimento de dosagem baseado no método do ACI, porém com a inserção das tabelas constantes na NBR 12655/2006 da ABNT para atender as condições de durabilidade em face da agressividade do ambiente.

O procedimento adotado é o seguinte:

- Conforme as condições de projeto e execução da obra, adota-se o abatimento do tronco de cone;
- Determina-se a dimensão máxima característica do agregado graúdo tendo em vista as condições da obra conforme recomendação da ABNT;
- Em função da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do abatimento adotado, determina-se a quantidade aproximada de água por metro cúbico de concreto, de acordo com a tabela 1;
- A seguir, determina-se a relação água/cimento em função da resistência de dosagem (Curva de Abrams) e das condições de exposição e natureza da obra (Tabela 4, 5 e 6 – NBR 12655 da ABNT), adotando-se o menor dos dois valores.
- Calcula-se o consumo de cimento;
- O volume aparente do agregado graúdo a ser usado, por metro cúbico de concreto, é determinado em função do módulo de finura da areia a ser empregada, com o auxílio da tabela 2. No caso de usar dois agregados graúdos, recomendam-se as proporções apresentadas na tabela 3;
- O consumo do agregado miúdo pode ser calculado pelo método volumétrico;
- Executa-se, posteriormente, o ajuste do traço através de misturas experimentais.

TABELAS PARA USO DO MÉTODO DO ACI ADAPTADO

TABELA 1
CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (l/m³)

Abatimento do tronco cone (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	31,5	37,5
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

TABELA 2
VOLUME COMPACTADO SECO DE AGREGADO GRAÚDO
(m³ / m³ de concreto)

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19	25	31,5	37,5
1,6	0,665	0,790	0,815	0,840	0,865
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685

TABELA 3
PROPORCIONAMENTO DE BRITAS

Dimensão Máxima (mm)	Proporção recomendada
9,5 / 19	30% / 70%
19 / 25	50% / 50%
25 / 37,5	50% / 50%
37,5 / 50	50% / 50%

TABELA 4 – NBR 12655
Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1),2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingo de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientais com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

TABELA 5 – NBR 12655
Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento, em massa	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40
Consumo de cimento por m ³ de concreto (kg/m ³)	CA E CP	≥260	≥280	≥320	≥360

CA - componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP - componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

TABELA 6 – NBR 12655

Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de fck (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água.	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou agentes químicos de degelo.	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes.	0,40	45

TABELA 7 – NBR 12655

Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

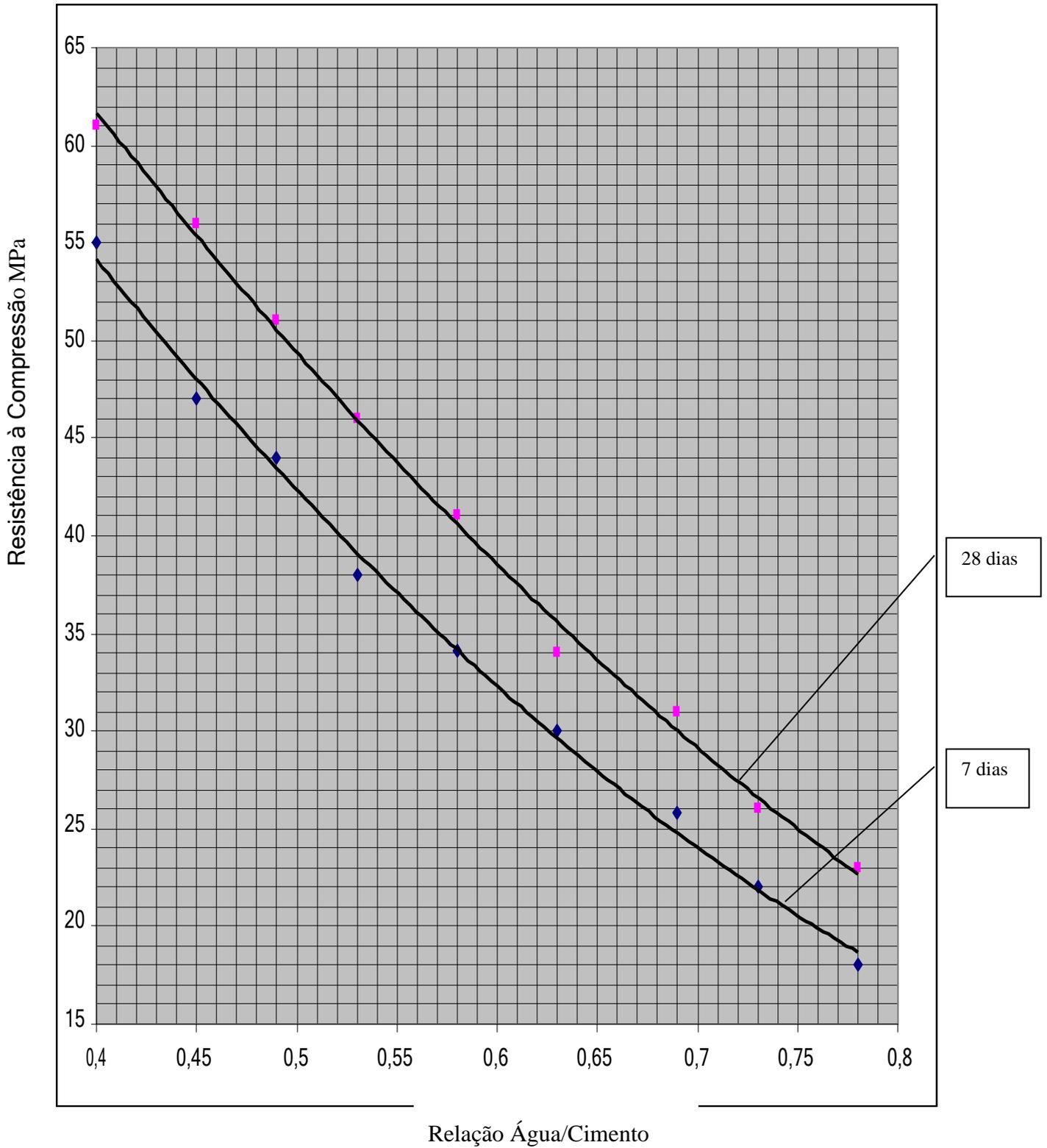
Condições de exposições em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo (% em massa)	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente na água	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal *	Mínima fck (para concreto com agregado normal ou leve) (MPa)
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa ***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,45	40

* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

** Água do mar.

*** Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

CURVA DE ABRAMS



EXERCÍCIO

Um reservatório elevado de água potável foi calculado em concreto, sem revestimento, com resistência característica a compressão de 35 MPa. Pede-se determinar o traço de concreto que atenda às condições previstas.

Dados do reservatório:

- espessura das paredes - 15 cm;
- menor distância horizontal entre barras de armadura - 35 mm;
- cobrimento mínimo da armadura - 25 mm.

O concreto será lançado através de baldes transportados por grua (guindaste) com adensamento vibratório moderado.

Consistência medida através de slump-test: 60 a 80mm

Materiais disponíveis:

- brita - 37,5; 31,5; 25; 19 e 9,5 mm
- areia - MF = 1,80

Sugere-se utilizar o método do ACI adaptado

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Materiais	Massa específica (kg/dm ³)	Massa unitária solta (kg/dm ³)	Massa unitária compactada (kg/dm ³)
Cimento	3,14	-	-
Areia	2,62	1,51	-
Brita 37,5 mm	2,78	1,42	B 25/37,5 - 1,51
Brita 25 mm	2,80	1,40	B 19/25 - 1,49
Brita 19 mm	2,80	1,38	-

3.2 - PRÁTICA 16 - MISTURAS EXPERIMENTAIS

A mistura experimental é realizada em laboratório para ajustar o traço, ou seja, a fim de adequar a quantidade de água e a proporção entre os agregados, calculadas através do método de dosagem. Pode também ser tomada como ponto de partida quando o responsável técnico tiver larga experiência.

Na mistura experimental verifica-se visualmente a coesão do concreto e mede-se sua consistência através do teste do Slump.

A mistura experimental determina:

- a quantidade de água em relação à quantidade de material seco (cimento e agregados), denominada A%;
- a proporção de areia e dos agregados graúdos.

DETERMINAÇÃO

MATERIAIS	1ª MISTURA	2ª MISTURA	3ª MISTURA
Areia (%)			
Cimento + agregado			
Cimento			
Total de agregado			
Areia (g)			
Total de brita			
Brita d_{max}			
Brita d_{max}			
Água (ml)			

TRAÇOS	1ª MISTURA	2ª MISTURA	3ª MISTURA
Cimento			
Areia (g)			
Brita d_{max}			
Brita d_{max}			
Água (ml)			
A (%)			

A%= massa de água/massa dos materiais secos

OBSERVAÇÕES: _____

EXERCÍCIO

Projetar os traços de concreto solicitados a seguir, para uma obra de edifício situada em região não agressiva.

Traço 1: Infra-estrutura em tubulões em $f_{ck} = 15,0$ MPa.

Traço 2: Estrutura do edifício em $f_{ck} = 20,0$ MPa.

Dados:

- Dimensões mínimas entre formas - 16 cm;
- Espaço mínimo entre barras da armadura - 3,0 cm;
- Adensamento a ser utilizado: vibratório moderado;
- Materiais medidos em massa com controle efetivo das umidades;
- Materiais disponíveis:
 - ◆ cimento CP II-E 32
 - ◆ areia
 - ◆ brita 19 mm e brita 25 mm

Pede-se:

Determinar os traços referidos utilizando as condições adotadas em laboratório.

Calcular outro traço para a estrutura alterando-se as condições de transporte, pois se verificou que o concreto ($f_{ck} = 20,0$ MPa) poderia ser transportado através de bombeamento se acrescidos 3% de areia em relação ao agregado total e 0,5% na umidade da mistura.

Durante uma jornada de trabalho na execução da estrutura, devido a um problema na balança de agregados, estes passaram a ser medidos em volume. Qual o traço a ser utilizado neste caso?

Se os tubulões estivessem, em contato com lençol d'água sulfatada, qual o traço de concreto a ser utilizado?

Utilizar dados da mistura experimental realizada no laboratório para a determinação do traço do concreto.

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Materiais	Cimento	Areia	Brita 19mm	Brita 25mm
Massa específica (kg/dm ³)	3,14	2,60	2,80	2,80
Massa unitária (kg/dm ³)	-	1,51	1,40	1,42
Inchamento (%)	-	26	-	-

4 - PRÁTICA 17 - AJUSTE DE TRAÇO

No decorrer da produção do concreto, algumas variáveis, como diferença nas características dos materiais fornecidos, ou na sistemática de produção, podem acarretar variações no concreto. Nestes casos, é necessário fazer ajustes técnicos para que a consistência e a resistência pretendidas sejam alcançadas com o mínimo de consumo de cimento e maior economia. A observação da consistência e o acompanhamento do controle da resistência são os principais responsáveis pela necessidade do ajuste de traços.

EXERCÍCIOS

1) O traço 1:1,87:3,63:0,52 determinado em laboratório para a estrutura de um edifício em concreto armado, $f_{ck}=20,0$ MPa, com um consumo aproximado de cimento de 350 kg/m^3 , consistência medida no ensaio do Slump test de $70 + 10\text{mm}$, se encontra a seguir. Os materiais foram medidos em volume, tendo sido considerada a influência do inchamento no agregado miúdo.

Ao virar o concreto na obra, durante a fase de ajuste, observou-se que em cada betonada (2 sacos de cimento) para se atingir a consistência pretendida, o betoneiro mediu 42 l de água. As umidades de areia e de brita foram medidas, correspondendo respectivamente a $h_A = 6,4\%$ e $h_B = 1,0\%$. Podemos continuar a utilizar o mesmo traço? Caso contrário, qual o novo traço para atingir a resistência requerida? Justifique sua resposta.

2) Dois meses após o início da produção do concreto, analisando os últimos 25 resultados de resistência à compressão obtidos com corpos de prova moldados num período de 30 dias, encontrou-se um desvio padrão de 4,2 MPa. Pode-se reajustar o traço? Calcule o novo consumo de cimento por m^3 .

3) Qual o traço de concreto a ser adotado para o reservatório da referida obra sabendo-se que o f_{ck} é de 25,0 MPa, consistência do concreto de $70 \pm 10\text{mm}$?

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Materiais	Cimento	Areia	Brita 19mm
Massa específica (kg/dm^3)	3,14	2,63	2,75
Massa unitária (kg/dm^3)	-	1,50	1,40
Umidade (%)	-	4,50	0,80
Inchamento (%)	-	30	-

5 - CONTROLE DA RESISTÊNCIA

O controle da resistência é um dos itens do controle de qualidade e deve ser feito de maneira racional e sistemática, para segurança da obra e controle da produção.

Para atingir estes objetivos, o responsável técnico deve planejar as etapas da concretagem e viabilizar a divisão adequada dos lotes de acordo com a NBR 12655.

A análise de cada lote é função do tipo de amostragem e do número de exemplares. Para sua aceitação é preciso que:

$$f_{ck_{est}} \geq f_{ck_{esp}}$$

sendo $f_{ck_{est}}$ calculado de acordo com o tipo de amostragem e conforme NBR 12655

amostragem parcial

♦ para $6 \leq n < 20$

$$f_{ck_{est}} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m$$

sendo $m = n/2$

Observando que $f_{ck_{est}} \geq \Psi_6 \cdot f_1$

♦ para $n \geq 20$

$$f_{ck_{est}} = f_{md} - 1,65 S_d$$

S_d o desvio padrão estatístico

♦ para $2 \leq n < 6$ - **caso excepcional**

$$f_{ck_{est}} \geq \Psi_6 \cdot f_1$$

amostragem total

♦ para $n \leq 20$

$$f_{ck_{est}} = f_1$$

♦ para $n > 20$

$$f_{ck_{est}} = f_i$$

sendo $i = 1 + 0,05n$

Valores de Ψ_6 em função do número de exemplares e da condição de controle

Condição	Número de Exemplares											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	>18
A	0.82	0.86	0.89	0.91	0.92	0,94	0,95	0.97	0.99	1.00	1.02	1.03
B e C	0.75	0.80	0.84	0.87	0,89	0,91	0,93	0,96	0.98	1.00	1.02	1.04

A rejeição de um lote não implica obrigatoriamente a não aceitação da estrutura. As providências necessárias variam numa escala crescente de complexidade e custos podendo-se adotar as seguintes etapas:

- consulta ao estruturalista para aceitação do $f_{ck_{est}}$;
- realização de ensaios não destrutivos de resistência;
- realização de ensaios destrutivos de resistência;
- prova de carga;
- reforço da estrutura.

Efetuar o controle da resistência de um concreto, segundo NBR - 12655 a partir dos resultados transcritos em anexo.

Obs.: Na obra, o concreto foi fabricado em betoneiras estacionárias, os agregados medidos em volume e a água corrigida em função da umidade dos agregados.

Exemplar	Data Moldagem	Local Concretado	nº de Amassadas	Volume Acumulado	Fck MPa	Tipo de Concreto	Resist 28d (MPa)		Lote nº
							min	max	
1	02/03/98	bloco de fundação nº 01	3	1,0	20	F. Obra	28,5	29,0	
2	02/03/98	bloco de fundação nº 03	3	2,0	20	F. Obra	30,4	31,5	
3	02/03/98	bloco de fundação nº 04 e 13	5	3,8	20	F. Obra	25,0	26,9	
4	03/03/98	bloco de fundação nº 02 e 12	4	5,2	20	F. Obra	31,0	32,2	
5	04/03/98	bloco de fundação nº 06 e 08	4	6,6	20	F. Obra	23,4	23,4	
6	04/03/98	bloco de fundação nº 07, 10 e 11	6	8,7	20	F. Obra	22,3	22,6	
7	05/03/98	bloco de fundação nº 05	1	13,7	20	Pre - mist	23,5	23,5	
8	09/03/98	vigas baldrames	4	15,1	20	F. Obra	26,0	27,5	
9	10/03/98	vigas baldrames	5	16,9	20	F. Obra	29,0	29,0	
10	11/03/98	vigas baldrames	1	17,3	20	F. Obra	24,5	25,0	
11	16/03/98	pilares 1 e 5, 14 e 15 (térreo)	1	19,3	20	Pre - mist	20,5	22,0	
12	17/03/98	pilares 06 a 12 (terreo)	1	21,5	20	Pre - mist	19,8	21,0	
13	25/03/98	vigas e laje 1º teto	1	27,5	20	Pre - mist	19,3	20,0	
14	25/03/98	vigas e laje 1º teto	1	33,5	20	Pre - mist	20,0	20,3	
15	25/03/98	vigas e laje 1º teto	1	39,5	20	Pre - mist	24,2	25,0	
16	25/03/98	vigas e laje 1º teto	1	45,5	20	Pre - mist	22,8	24,1	
17	25/03/98	vigas e laje 1º teto	1	52,2	20	Pre - mist	22,5	23,1	
18	25/03/98	vigas e laje 1º teto	2	62,5	20	Pre - mist	24,0	24,3	
19	30/03/98	pilares 1 e 2 (1º pavimento)	2	63,0	20	F. Obra	31,0	31,0	
20	30/03/98	pilares 3 e 4 (1º pavimento)	2	63,6	20	F. Obra	28,0	28,8	
21	31/03/98	pilares 5 e 14 (1º pavimento)	2	64,3	20	F. Obra	22,5	23,6	
22	31/03/98	pilares 09, 10 e 15 (1º pavimento)	2	65,2	20	F. Obra	19,8	21,1	
23	31/03/98	pilares 06, 07 e 08 (1º pavimento)	3	65,9	20	F. Obra	24,6	26,4	
24	01/04/98	pilares 11, 12 e 13 (1º pavimento)	2	66,2	20	F. Obra	22,5	23,1	

Exemplar	Data Moldagem	Local Concretado	nº de Amassadas	Volume Acumulado	Fck MPa	Tipo de Concreto	Resist 28d (MPa)		Lote nº
							min	max	
25	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	68,3	20	F. Obra	21,0	21,2	
26	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	70,4	20	F. Obra	25,3	26,3	
27	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	72,5	20	F. Obra	28,4	29,4	
28	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	74,6	20	F. Obra	25,5	25,5	
29	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	76,7	20	F. Obra	26,6	28,1	
30	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	78,8	20	F. Obra	23,0	23,3	
31	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	80,9	20	F. Obra	18,5	20,0	
32	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	83,0	20	F. Obra	25,0	25,4	
33	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	85,1	20	F. Obra	26,1	26,2	
34	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	87,2	20	F. Obra	29,5	32,0	
35	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	89,3	20	F. Obra	30,5	30,5	
36	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	91,4	20	F. Obra	27,2	28,4	
37	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	93,5	20	F. Obra	22,0	24,1	
38	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	95,6	20	F. Obra	26,0	28,0	
39	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	97,7	20	F. Obra	25,2	26,1	
40	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	99,8	20	F. Obra	20,6	22,4	
41	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	101,9	20	F. Obra	32,0	33,1	
42	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	104,0	20	F. Obra	27,4	28,0	
43	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	106,1	20	F. Obra	20,8	22,5	
44	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	108,2	20	F. Obra	25,5	26,0	
45	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	110,3	20	F. Obra	22,0	23,4	
46	09/04/98	vigas e laje 2º teto	6	112,1	20	F. Obra	25,0	25,2	
47	22/04/98	pilares (2º pavimento)	1	116,3	20	Pre - mist	22,0	22,3	

Exemplar	Data Moldagem	Local Concretado	nº de Amassadas	Volume Acumulado	Fck MPa	Tipo de Concreto	Resist 28d (MPa)		Lote nº
							min	max	
48	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	123,8	20	Pre - mist	20,8	21,0	
49	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	131,3	20	Pre - mist	23,2	23,5	
50	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	138,3	20	Pre - mist	22,6	22,6	
51	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	145,3	20	Pre - mist	25,5	26,4	
52	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	152,3	20	Pre - mist	25,0	25,8	
53	24/04/98	vigas e laje da cobertura	1	159,3	20	Pre - mist	26,0	26,1	
54	07/05/98	pavimentação térreo	1	165,3	20	Pre - mist	21,5	23,0	
55	07/05/98	pavimentação térreo	1	171,3	20	Pre - mist	19,1	20,5	
56	07/05/98	pavimentação térreo	1	177,3	20	Pre - mist	24,6	25,1	
57	07/05/98	pavimentação térreo	1	183,3	20	Pre - mist	23,5	23,6	
58	08/05/98	pavimentação térreo	2	193,3	20	Pre - mist	25,0	26,5	
59	08/05/98	pavimentação térreo	2	203,3	20	Pre - mist	22,8	23,0	
60	08/05/98	pavimentação térreo	2	215,3	20	Pre - mist	23,6	24,2	
61	08/05/98	pilares do reservatório	3	216,2	20	F. Obra	27,0	28,1	
62	08/05/98	pilares do reservatório	3	217,1	20	F. Obra	24,8	26,8	
63	25/05/98	fundo e parede do reservatório	1	219,5	18	Pre - mist	32,0	33,2	

