

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

APOSTILA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO

<u>APRESENTAÇÃO</u>	4
<u>INTRODUÇÃO</u>	5
<u>O que é o concreto</u>	5
<u>A. Conceituação</u>	5
<u>B. Histórico</u>	5
<u>C. Vantagens</u>	6
<u>Fatores que influenciam a qualidade do concreto</u>	8
<u>A- O Que é Qualidade?</u>	8
<u>B - Obtenção da Qualidade</u>	8
<u>C - Generalidades</u>	8
<u>D - Conclusão</u>	9
<u>Estudo dos materiais constituintes sob o aspecto tecnológico</u>	10
<u>Cimento Portland</u>	10
<u>A. Introdução e conceituação</u>	10
<u>B. Matérias - primas</u>	10
<u>B. 3 - Gesso</u>	11
<u>C. Fabricação de Cimento Portland</u>	11
<u>D - Composição Química</u>	15
<u>E - Cimento Portland</u>	20
<u>F - Cimentos Portland com adições ativas</u>	30
<u>G - Especificações</u>	34
<u>H - Conclusão</u>	36
<u>AGREGADOS</u>	37
<u>A. Conceituação</u>	37
<u>B. Classificação</u>	37
<u>C. Obtenção</u>	38
<u>D - Agregado Miúdo</u>	41
<u>E - Agregados Graúdos</u>	45
<u>ÁGUA DE AMASSAMENTO</u>	50
<u>A. Introdução</u>	50
<u>B. Impurezas e sua Influência</u>	50
<u>C - Água do Mar</u>	54
<u>D - Águas Residuais de Indústrias</u>	55
<u>E - O Efeito das Impurezas na Água de Mistura (segundo Abrams)</u>	55
<u>F - A Prática Corrente para a Verificação da Qualidade da Água Empregada no Amassamento dos</u> <u>Concretos para Pavimentos</u>	57
<u>PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO</u>	59
<u>A. Conceituação</u>	59
<u>B. Trabalhabilidade</u>	59
<u>C - Exsudação</u>	60
<u>D - Massa específica</u>	60
<u>PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO</u>	61
<u>A- Resistência aos Esforços Mecânicos</u>	61
<u>B - Permeabilidade e Absorção</u>	62
<u>C - Deformações</u>	63
<u>D - Módulo da Elasticidade</u>	64
<u>PREPARO DO CONCRETO - MANIPULAÇÃO DOS MATERIAIS</u>	66
<u>A - Introdução</u>	66
<u>B - Manuseio e Estocagem dos Materiais</u>	68
<u>ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO</u>	70
<u>A - Introdução</u>	70
<u>B - Tipos de Especificação</u>	70
<u>C - Aceitação do Concreto</u>	74
<u>PREPARO DO CONCRETO</u>	75
<u>Dosagem</u>	75
<u>A - Introdução</u>	75
<u>B - Designação do Traço</u>	75
<u>C - Determinação das Quantidades dos Componentes</u>	75
<u>D - Efeitos das Variações de Dosagem Sobre J Concreto</u>	77

<u>E - Tolerâncias na Dosagem</u>	78
<u>DOSAGEM DO CONCRETO</u>	79
<u>Fixação de Elementos para Dosagem</u>	79
<u>A - Dimensão Máxima Característica dos Agregados (D_{máx})</u>	79
<u>B - Módulo de Finura dos Agregados (M. F.)</u>	80
<u>C - Relação Água/Cimento (A/C)</u>	80
<u>D - Relação Água/ Mistura Seca (A%)</u>	82
<u>E - Relação Cimento: Agregado (1 : m)</u>	82
<u>F - Relação Areia/ Agregado (a/m)</u>	82
<u>G - Correção do Traço Quanto a Granulometria (se necessário)</u>	83
<u>H - Correção do Traço Quanto a Consistência</u>	83
<u>I - Consumo de Cimento (C)</u>	83
<u>J - Quantidade de Agregado em Volume por m³ de Concreto</u>	84
<u>K - Quantidade de Água</u>	84
<u>L - Custo do m³ de Concreto (material)</u>	85
<u>DOSAGEM DO CONCRETO</u>	86
<u>- Método da ABCP / ACI -</u>	86
<u>A - Determinação da Dimensão Máxima do Agregado (D_{máx})</u>	86
<u>B - Fixação da Relação Água/Cimento (A/C)</u>	86
<u>C - Proporcionamento de Britas</u>	86
<u>D - Determinação do Consumo de Água (Ca)</u>	86
<u>E - Determinação do Consumo de Cimento (C)</u>	86
<u>F - Determinação do Consumo de Agregado Graúdo (Cb)</u>	86
<u>G - Determinação do Consumo de Agregado Miúdo (Cm)</u>	87
<u>H - Apresentação do Traço</u>	87
<u>DOSAGEM DO CONCRETO</u>	88
<u>- MÉTODO DO INT -</u>	88
<u>A - Determinação da Dimensão Máxima do Agregado (D_{máx})</u>	88
<u>B - Fixação do Fator Água/Cimento (A/C)</u>	88
<u>C - Fixação do Fator Água/Mistura Seca (A%)</u>	88
<u>D - Determinação da Proporção Cimento:Agregado (1:m)</u>	88
<u>E - Fixação da Porcentagem de Agregados na Mistura Seca</u>	88
<u>F - Determinação da Porcentagem de Cimento (%c)</u>	89
<u>G - Determinação do Traço do Concreto em Peso</u>	89
<u>PREPARO DO CONCRETO</u>	90
<u>Controle do Concreto</u>	90
<u>A - Controles</u>	90
<u>INSPEÇÃO DO CONCRETO</u>	94
<u>A - Introdução</u>	94
<u>ENSAIO DE CONSISTÊNCIA</u>	97
<u>A. Ensaio de Resistência a Compressão</u>	97
<u>B. Formação de Lotes</u>	97
<u>C. Amostragem</u>	97
<u>D - Tipos de Controle da Resistência</u>	98
<u>E - Controle Estatístico do Concreto por Amostragem Parcial</u>	98
<u>F - Controle do Concreto por Amostragem Total (100%)</u>	99
<u>G - Casos Excepcionais</u>	100
<u>CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO</u>	101
<u>Critérios Para Aceitação da Estrutura</u>	101
<u>A - Aceitação Automática</u>	101
<u>B - Decisões a Adotar Quando não Há Aceitação Automática</u>	101

APRESENTAÇÃO

Esta apostila é um extrato do Manual de Tecnologia do Concreto do professor Cezar Augusto Romano, com atualizações e complementações efetuadas a partir de diversas bibliografias, com o específico fim de uso na disciplina de Tecnologia do Concreto, ministrada pelo professor Amacin Rodrigues Moreira, do curso de Engenharia de Produção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

INTRODUÇÃO

O que é o concreto

A . Conceituação

O concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes e água.

O aglomerante usualmente empregado é o cimento Portland, embora possam ser empregados outros tipos de cimento.

Os materiais inertes do concreto são designados por agregados, que quando classificados conforme granulometria (dimensões) recebem as denominações de *agregados graúdos* e *agregados miúdos*.

O agregado graúdo mais freqüente é a pedra britada. No entanto para a concretagem por bombardeamento do concreto, o pedregulho é o material mais adequado.

O agregado miúdo mais freqüente é a areia natural. Também pode ser utilizado o pó de pedra.

De um modo sintético, as misturas dos elementos constituintes dos concretos podem ser assim designados:

PASTA = CIMENTO + ÁGUA

ARGAMASSA = PASTA + AGREGADO MIÚDO

CONCRETO = ARGAMASSA + AGREGADO GRAÚDO

CONCRETO ARMADO = CONCRETO + ARMADURA PASSIVA

CONCRETO PROTENDIDO = CONCRETO + ARMADURAS PASSIVA E ATIVA

B. Histórico

A pedra é empregada nas construções desde a antigüidade. Egípcios, gregos e romanos utilizaram largamente a pedra como material de construção, em obras que até hoje são monumentos como as pirâmides egípcias, os templos gregos e os arcos romanos.

Porém, o emprego do concreto armado já é bem mais recente, cerca de pouco mais de um século.

Um material de construção deve apresentar duas qualidades principais: *resistência* e *durabilidade*.

A pedra tem durabilidade muito grande, praticamente ilimitada e oferece elevada resistência aos esforços de compressão, mas baixa resistência à tração.

A madeira e o aço, materiais largamente utilizados na construção, apresentam por seu lado deficiências particulares, a saber a madeira com resistência de tração e compressão pouco elevadas e durabilidade limitada e o aço, apesar da excelente resistência aos esforços de tração e compressão, está sujeito a deteriorar-se com o tempo.

Pode-se imaginar que o concreto armado tenha surgido com o desejo de gerar um tipo de construção que utilizando uma "pedra" artificial apresentasse a durabilidade da pedra natural, tivesse a vantagem de ser fundido nas dimensões desejadas e associando o aço a essa "pedra" artificial, aproveitasse a alta resistência deste material, ao mesmo tempo que, protegendo-o, aumentasse sua durabilidade.

É considerada como sendo, a primeira peça executada em concreto armado, um barco construído por LAMBOT em 1.849 na França.

Abaixo estão indicadas as datas e as primeiras peças executadas em concreto armado:

1.849 - Lambot constrói um barco de concreto com rede metálica e Monier confecciona vasos de concreto com armadura.

1.852 - Coignet executa elementos de construção com o emprego do concreto armado (vigotes e lajotas).

1.867 a 1.878 - Monier registra várias patentes para construção, primeiramente de vasos, e posteriormente tubos e elementos de construção.

1.880 - Hennebique constrói a primeira laje armada com emprego de aço de secção circular.

C. Vantagens

As vantagens do concreto armado sobre outros materiais dependerão, numa obra, de inúmeras outras circunstâncias, porém analisando de maneira geral são:

C. 1 - Economia de construção

Em virtude principalmente da obtenção dos materiais inertes geralmente próximo às obras e da utilização de mão-de-obra não qualificada.

C. 2 - Economia de conservação

As estruturas metálicas e as de madeira devem ser constantemente conservadas através de pinturas, o que já não ocorre com o concreto.

C. 3 - Material moldável

O concreto armado adapta-se a qualquer forma de construção, podendo ser construído no local ou pré- fabricado.

A arquitetura teve um desenvolvimento bastante acentuado com a utilização do concreto armado, devido à possibilidade ilimitada de executar-se estruturas com a estética que a arte definir.

C. 4 - Maior resistência a choques e vibrações.

C. 5 - Maior segurança contra o fogo.

Fatores que influenciam a qualidade do concreto

A- O Que é Qualidade?

- É a adequação ao uso;
- É o atendimento às especificações;
- É a satisfação do cliente;
- É a satisfação de todos.

B - Obtenção da Qualidade

MÃO-DE-OBRA - MATERIAL - MÉTODO – MÁQUINA – MEIO - AMBIENTE

C - Generalidades

A qualidade do concreto dependerá primeiramente da qualidade dos materiais componentes.

Necessário se faz uma seleção cuidadosa desses materiais, evidenciando o fator uniformidade.

Contando com materiais de boa qualidade, é preciso misturá-los nas proporções adequadas, considerando então, a relação entre cimento e agregado, a granulometria (miúdo e graúdo) e principalmente a relação entre a água empregada e o cimento. Necessária ainda se torna, na massa do concreto, a mistura íntima do cimento com a água e a distribuição uniforme da pasta resultante nos vazios dos agregados miúdo e graúdo, que, por sua vez, também devem ser convenientemente misturados.

Após a mistura, deve o concreto ser transportado, lançado nas fôrmas e adensado corretamente.

Como a hidratação do cimento continua por um tempo considerável é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que então se processam. É a cura do concreto.

Em suma, para obter as qualidades essenciais ao concreto: facilidade de emprego quando fresco, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e constância de volume depois de endurecido, sempre tendo em vista o fator econômico, são necessários:

- 1 - *Seleção cuidadosa dos materiais* (cimento, agregados e aditivos) quanto a :
 - 1.1 - Tipo e qualidade;
 - 1.2.- Uniformidade.

2 - *Proporcionamento correto* :

2.1 - Do aglomerante em relação ao inerte;

2.2 - Do agregado miúdo em relação ao graúdo;

2.3 - Da quantidade de água em relação ao material seco;

2.4 - Da quantidade de água em relação ao aglomerante;

2.5 - Do aditivo em relação ao aglomerante ou à água utilizada.

3 - *Manipulação adequada quanto à* :

3.1 - Mistura;

3.2 - Transporte;

3.3 - Lançamento;

3.4 - Adensamento.

4 - *Cura cuidadosa.*

D - Conclusão

Objetivos a serem lançados na produção do concreto:

NO ESTADO FRESCO	NO ESTADO ENDURECIDO
- Facilidade de Emprego (Trabalhabilidade)	- Resistência Mecânica - Durabilidade - Impermeabilidade - Constância de Volume
SEMPRE TENDO EM VISTA O FATOR ECONÔMICO (CUSTO)	

Estudo dos materiais constituintes sob o aspecto tecnológico

Cimento Portland

A. Introdução e conceituação

O cimento Portland é um dos mais importantes materiais de construção a serviço da engenharia, com um vastíssimo campo de aplicação, que vem se expandindo com a criação de novas aplicações como o solo-cimento, a pavimentação de estradas, as habitações pré-fabricadas, etc.

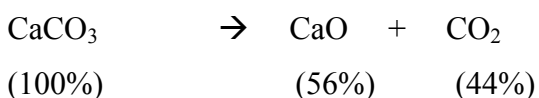
O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica.

B. Matérias - primas

O cimento Portland depende, principalmente, para sua fabricação, dos seguintes produtos minerais : calcário, argila e gesso.

B. 1 - Calcário

O calcário é o carbonato de cálcio (CaCO_3) que se apresenta na natureza com impurezas como óxido de magnésio. O carbonato puro ou calcita, sob ação do calor, decompõem-se do seguinte modo:



É perceptível, que uma tonelada de calcário dá origem a 560 kg de cal, que é verdadeiramente a matéria-prima que entra na fabricação do cimento, porquanto os 440 kg de CO_2 são perdidos sob a forma de gás, que sai pela chaminé das fábricas. A dolomita é o carbonato de cálcio e magnésio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), que encerra apenas 30,4% de CaO não é utilizada na fabricação do cimento Portland.

B. 2 - Argila

A argila empregada na fabricação do cimento é essencialmente constituída de um silicato de alumínio hidratado, geralmente contendo ferro e outros minerais, em menores porcentagens. A argila fornece os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 necessários à fabricação do cimento

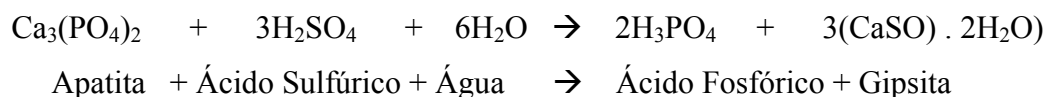
B. 3 - Gesso

O gesso é o produto de adição final no processo de fabricação do cimento Portland, com o fim de regular o tempo de pega por ocasião das reações de hidratação. É encontrado sob as formas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); hemidrato ou bassanita ($\text{CaSO} \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4).

A gipsita, o tipo estrutural de gesso mais consumido na indústria cimenteira, encontra-se no estado natural em grandes jazidas sedimentares, geologicamente denominadas de evaporitos.

As reservas nacionais de gesso natural conhecidas são suficientes para atender ao consumo, nos níveis atuais, por cerca de 1000 anos, porém a má distribuição geológica dos depósitos, restritos à região Nordeste e as enormes proporções de rejeitos industriais da fabricação do ácido fosfórico no Sul e Sudeste do país motivaram a industrialização do fosfogesso ou gesso sintético, a partir de 1975.

A reação química que permite a obtenção do ácido fosfórico a partir da apatita (minério natural de fosfato) é observada a seguir:



Frequentemente, o minério fosfático está associado a impurezas, originando a presença no gesso sintético de produtos como fluoretos, fosfatoss residuais, matéria orgânica, que podem afetar o tempo de pega e as resistências mecânicas do cimento, daí a necessidade de purificação do fosfogesso.

C . Fabricação de Cimento Portland

A fabricação do cimento Portland envolve as seguintes operações:

- a) preparo e dosagem da mistura crua;
- b) homogeneização;

- c) clinquerização;
- d) esfriamento;
- e) adições finais e moagem;
- f) ensacamento.

C. 1 - Preparo e dosagem da mistura crua.

C. 1. 1 - Preparo da mistura crua

A matéria-prima é extraída das jazidas pelos processos usuais de exploração de depósitos minerais. O calcário pode apresentar-se com dureza elevada, exigindo o emprego de explosivos seguidos de britagem, ou suficientemente mole, exigindo apenas o emprego de desintegradores, para ficar reduzido ao tamanho de partículas de diâmetro máximo da ordem de 1 cm.

As argilas contendo silicatos, alumina e óxido de ferro, normalmente, apresentam-se em condições de serem misturadas diretamente com o calcário.

Calcário e argilas, em proporções pré-determinadas, são enviadas ao moinho de cru (moinhos de bolas, barras, de rolos) onde se processa o início da mistura íntima das matérias-primas e, ao mesmo tempo, a sua pulverização, de modo a reduzir o diâmetro das partículas de 0,050 mm, em média.

A moagem, conforme se trate de via úmida ou seca, é feita com ou sem presença de água.

C. 1. 2 - Dosagem da mistura crua

A determinação da porcentagem de cada matéria-prima na mistura crua depende essencialmente da composição química das matérias-primas e da composição que se deseja obter para o cimento Portland, quando terminado o processo de fabricação.

Durante o processo de fabricação, a matéria-prima e a mistura crua são analisadas, quimicamente, numerosas vezes, a intervalos de 1 hora e, às vezes, a cada meia hora e em face dos resultados dos ensaios, o laboratório indica as porcentagens de cada matéria-prima que deve compor a mistura crua.

1) Módulo Hidráulico (Michaelis)

$$M H = CaO / SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$$

2) Módulo de Sílica

$$M S = SiO_2 / Al_2O_3 + Fe_2O_3$$

3) Módulo de Alumina-Ferro

$$M A F = Al_2O_3 / Fe_2O_3$$

Nos cimentos nacionais, como resultado de numerosos ensaios, realizados em seu laboratório, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) encontrou os seguintes valores :

MÉTODO DE CONTROLE	Mínimo	Máximo
Módulo Hidráulico	1,8	2,2
Módulo de Sílica	1,7	3,1
Módulo de Alumina-Ferro	1,2	3,2

C. 2 - Homogeneização

A matéria-prima devidamente dosada e reduzida a pó muito fino, após a moagem, deve Ter a sua homogeneidade assegurada da melhor forma possível.

No processo de fabricação por via úmida, a matéria-prima é moída com água e sai dos moinhos sob a forma de uma pasta contendo geralmente de 30% a 40% de água, e é bombeada para grandes tanques cilíndricos, onde se processa durante várias horas a operação de homogeneização. Os tanques de homogeneização são providos de equipamento que gira em torno de um eixo central que é constituído de uma série de pás que giram, por sua vez, em torno de vários eixos ligados à árvore principal. A pasta, nessa fase de operação, é ensaiada várias vezes, a fim de controlar a homogeneidade da mistura e a dosagem dos constituintes do cimento, o que permite a sua correção, se necessário.

No processo por via seca a matéria-prima sai do moinho já misturada, pulverizada e seca. Normalmente os moinhos de cru do sistema por via seca trabalham com temperaturas elevadas (300 °C - 400 °C) no seu interior, o que permite secá-la (menos de 1% de umidade).. Para tal fim, são usados, em certos tipos de moinho, os gases de combustão do forno, antes de serem enviados ao filtro retentor do poeiras, e, em seguida, à chaminé. O cru é transportado mecânica ou pneumaticamente para o silo homogeneizador, onde se assegura a homogeneização necessária da mistura e se corrige, eventualmente, a sua composição.

C. 3 - Clinquerização

A matéria-prima, uma vez pulverizada e intimamente misturada na dosagem conveniente, sofre o seguinte tratamento térmico:

TEMPERATURA	PROCESSO	REAÇÃO
Até 100 °C	Evaporação de água livre	Endotérmica
500 °C e acima	Desdioxilação dos minerais argilosos	Endotérmica
900 °C e acima	Cristalização dos argilo-minerais decompostos	Exotérmica
900 °C e acima	Decomposição do carbonato	Endotérmica
900 °C a 1200 °C	Reação do CaO com os sílico-aluminatos	Exotérmica
1250 °C a 1280 °C	Início de formação da fase vítrea	Endotérmica
Acima de 1280 °C	Formação de vidro e dos compostos do cimento (clinquerização)	Provavelmente Endotérmica

No processo por via úmida, todo o processamento termoquímico necessário à produção da clínquer se dá no forno rotativo.

No processo por via seca, até temperatura da ordem de 900 °C a 1000 °C, o processamento da mistura crua se dá em intercambiadores de calor do tipo ciclone ou de contra-corrente. O processamento restante realiza-se no forno, de comprimento reduzido, que recebe a mistura já referida temperatura.

C. 4 - Esfriamento

No forno, como resultado do tratamento sofrido, a matéria-prima transforma-se em clínquer. Na saída, o material apresenta-se na forma de bolas de diâmetro máximo variável entre 1cm e 3cm. As bolas que constituem o clínquer saem do forno a uma temperatura da ordem de 1200 °C a 1300 °C, pois há um início de abaixamento de temperatura, na fase final, ainda no interior do forno.

O clínquer sai do forno e passa ao equipamento esfriador, que pode ser de vários tipos. Sua finalidade é de reduzir a temperatura, mais ou menos rapidamente, pela passagem de uma corrente de ar frio no clínquer. Dependendo da instalação, na saída do esfriador, o clínquer apresenta-se com temperatura entre 50 °C e 70 °C, em média.

O clínquer, após o resfriamento, é transportado e estocado em depósitos.

C. 5 - Adições finais e moagem

O clínquer Portland assim obtido é conduzido à moagem final, recebendo antes, uma certa quantidade de gesso, limitada pela norma, gesso esse destinado a controle do tempo de início de pega.

O cimento Portland de alta resistência inicial - NBR 5733 (EB -2) - , cimento Portland branco, o cimento Portland de moderada resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS), eo cimento Portland de alta resistência aos sulfatos (ARS) - NBR 5737 (EB-903) - não recebem outros aditivos, a não ser o gesso.

O cimento Portland de alto forno - NBR 5735 (EB-208) - além de gesso, recebe de 25% a 65% de escória básica granulada de alto forno.

O cimento Portland pozolânico - NBR 5736 (EB-7580) - recebe, além de gesso, a adição de material pozolânico (cinza volante, argila calcinada ou pozolana natural), nos seguintes teores: de 10% a 40% para o tipo 25 e de 10% a 30% para o tipo 32.

Para o cimento Portland comum - NBR 5732 (EB-1) - é permitida a adição de escória granulada de alto forno num teor de até 10% de massa total do aglomerante.

O clínquer Portland e seus aditivos passam ao moinho para a moagem final, onde se assegura ao produto a finura conveniente, de acordo com as normas.

C. 6 - Ensacamento

O cimento Portland resultante da moagem do clínquer, com os aditivos permitidos, é transportado mecânica e pneumaticamente para os silos de cimento a granel, onde é estocado.

Após os ensaios finais de qualidade do cimento estocado, ele é enviado aos silos para a operação feita em máquinas especiais que automaticamente enchem os sacos e os soltam assim que atingem o peso especificado de 50 kg.

Muitas são as fábricas providas de equipamentos que permitem também a entrega do cimento a granel.

D - Composição Química

Os componentes principais, cuja determinação é feita a partir de uma análise química e a composição em óxidos dos cimentos nacionais, em valores médios, são:

- Cal	(CaO)	→	61% a 67%
- Sílica	(SiO ₂)	→	20% a 23%

- Alumina	(Al ₂ O ₃)	→	4,5% a 7,5 %
- Óxido de Ferro	(Fe ₂ O ₃)	→	2,0% a 3,2%
- Magnésio	(MgO)	→	0,8% a 6,0%
- Álcalis	(Na ₂ O e K ₂ O)	→	1,0% a 2,3%
- Sulfatos	(SO ₃)	→	0,3% a 1,5%

D. 1 - Clínquer Portland e seu compostos anidros

Usa-se na química do cimento, uma anotação própria, simplificada, que muito favorece o estudo e a compreensão dos fenômenos referentes a este aglomerante:

- CaO	C
- SiO ₂	S
- Fe ₂ O ₃	F
- Al ₂ O ₃	A

No interior do forno de produção de cimento, a sílica, a alumina, o óxido de ferro e a cal reagem dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes:

- silicato tricálcico	3CaO . SiO ₂	(C ₃ S)*
- silicato dicálcico	2CaO . SiO ₂	(C ₂ S)*
- aluminato tricálcico	3CaO . Al ₂ O ₃	(C ₃ A)*
- ferroaluminato tetracálcico	4CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	(C ₄ AF)*

além do MgO e pequena quantidade de cal livre.

(*) - Forma abreviada de representar os compostos.

Esses compostos formam-se no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a mistura crua num líquido pastoso que, ao se resfriar, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorre com os três produtos acima citados, e a um material intersticial amorfo contendo o C₄AF e outros.

Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença da água, por hidrólise, dando origem, então, a compostos hidratados.

D. 2 - Composição potencial

Conhecida a composição analítica do clínquer, é possível, à base de certas hipóteses, calcular as quantidades dos compostos presentes.

Os cimentos Portland nacionais, segundo Ary F. Torres tinham (1936 - 1938) a seguinte composição, dita potencial, calculada a partir do teor eram fabricadas naquela época:

C₃S - 42% a 60%

C₂S - 14% a 35%

C₃A - 6% a 13%

C₄AF - 5% a 10%

Em 1977, como resultado de centenas de ensaios realizados no laboratório da ABCP, em cimentos de produção brasileira foram encontrados os seguintes valores para a composição potencial calculada pela fórmula de BOGUE:

C₃S - 18% a 66%

C₂S - 11% a 53%

C₃A - 2% a 20%

C₄AF - 4% a 14%

Em trabalho realizado pelo National Bureau of Standard (NBS) - EUA, com quase 200 amostras de cimento norte-americano, foram encontrados do mesmo modo os seguintes resultados:

C₃S - 20% a 70%

C₂S - 5% a 50%

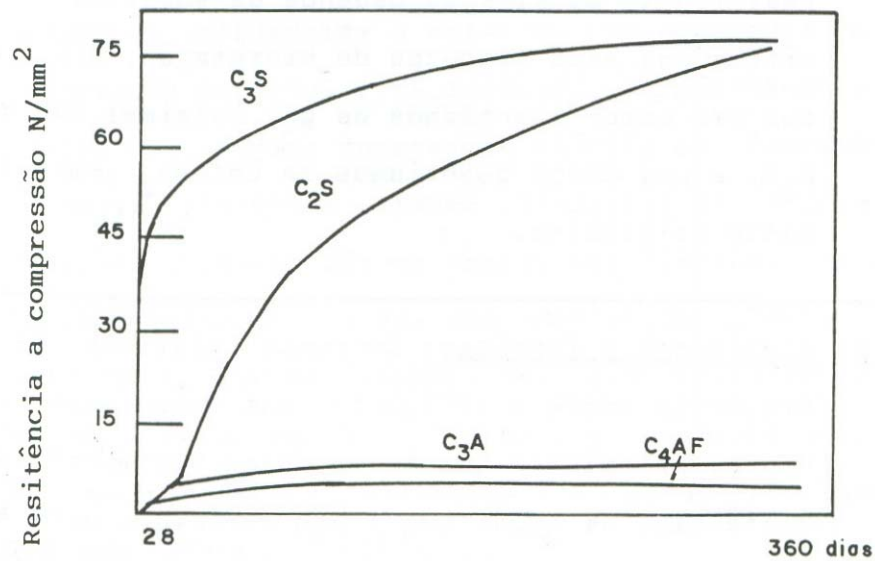
C₃A - 1% a 15%

C₄AF - 1% a 17%

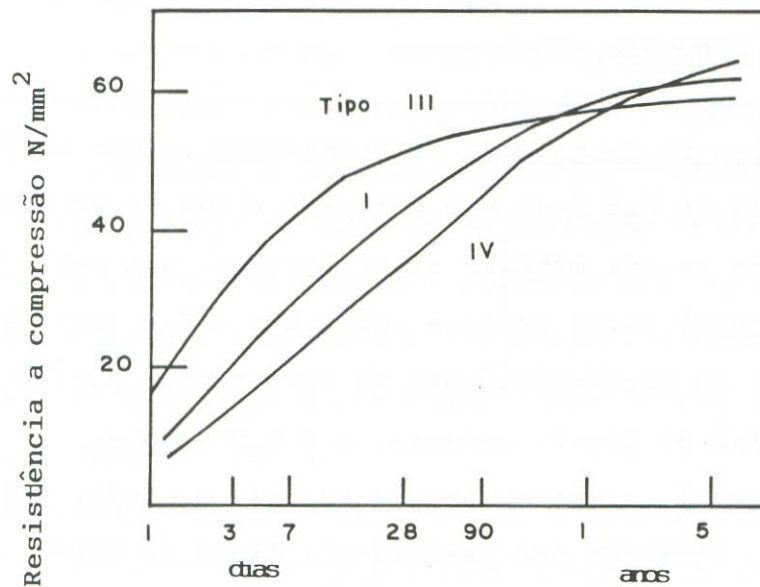
As características destes compostos, em resumo, são os constantes no quadro abaixo:

PROPRIEDADE	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF
Resistência	Boa	Boa	Fraca	Fraca
Intensidade de reação	Média	Lenta	Rápida	Rápida
Calor desenvolvido	Médio	Pequeno	Grande	Pequeno

Resistência a compressão dos compostos do cimento



Desenvolvimento da resistência do concreto feito com diferentes tipos de cimento



TIPO I- Para utilização em construção geral de concreto.

TIPO III- Para utilização quando se requer alta resistência em idade inicial.

TIPO IV- Para utilização quando se requer baixo calor de hidratação.

Do ponto de vista da resistência, os dois silicatos de cálcio são os fundamentais, o C_3S nas primeiras idades e o C_2S em maiores.

Os aluminatos são responsáveis pelas primeiras reações, porém atingem valores muito baixos de resistência aos esforços mecânicos. Por outro lado, o calor desenvolvido pelas reações do aglomerante com a água é devido, principalmente, ao C_3A , seguido pelo C_3S . O C_2S e o C_4AF liberam muito pouco calor por ocasião da hidratação.

D. 3 - Constituintes anidros do clínquer

O C_3S , quando observado ao microscópio em superfícies polidas de clínquer, convenientemente tratadas, apresenta-se em cristais pseudo-hexagonais normalmente de contornos bem definidos.

O C_2S apresenta-se, no ensaio acima referido, sob a forma de cristais de forma arredondada e, às vezes, denteados.

O C_3A e o C_4AF apresentam-se como materiais intersticiais, preenchendo o espaço vazio deixado pelos cristais de C_3S e C_2S . O C_4AF apresenta-se como material intersticial claro. O material intersticial escuro, quando de características cristalina, identifica o C_3A . O material intersticial claro não cristalino é o vidro, material resultante do esfriamento brusco do clínquer e que se forma em lugar de uma cristalização total dos elementos presentes no clínquer.

O vidro possuirá, total ou parcialmente, em dissolução, o MgO que não pode cristalizar-se sob a forma de periclásio, o que entretanto, pode ocorrer se o esfriamento for lento.

O esfriamento brusco do clínquer se destina, sobretudo, a impedir a formação de periclásio, pois os cristais de periclásio do cimento Portland poderão transformar-se em $Mg(OH)_2$ (hidróxido de magnésio ou brucita), quando o concreto que os contenha seja empregado em obras sujeitas à presença de umidade.

D. 4 - Composição química do cimento Portland

A análise química permite determinar a composição do cimento Portland, dosado o teor de seus principais componentes químicos, que são os óxidos CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO e SO₃.

Para a análise química prevista na especificação para cimento Portland, existem métodos de ensaio aprovados em nosso país pela ABNT.

E - Cimento Portland

O cimento Portlando é um produto de características bem definidas em suas normas aprovadas, no Brasil, pela ABNT.

O cimento Portland resulta da moagem de um produto denominada clínquer, obtido pelo cozimento até fusão incipiente (aproximadamente 30% de fase líquida) de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda a cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo a que o teor de SO₃ não ultrapasse 3,0% a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água.

O clínquer de cimento Portland, cujas propriedades já foram estudadas anteriormente, pode dar origem a vários tipos de cimento Portland, alguns dos quais já de fabricação corrente no Brasil, e que obedecem a normas técnicas específicas.

Assim, são de fabricação corrente no Brasil os seguintes tipos de cimento Portland, com especificações aprovadas pela ABNT:

a) Cimento Portland comum (CPC): obedecendo à NBR 5732 (Especificação Brasileira EB-1 de 1937 e com revisão aprovada em 1977);

b) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI): obedecendo à NBR 5733 (Especificação Brasileira EB-2);

c) Cimento Portland de Alto Forno (AF): obedecendo à NBR 5735 (Especificação Brasileira EB-208);

d) Cimento Portland Pozolânico (POZ): obedecendo à NBR 5736 (Especificação Brasileira EB-758);

e) Cimento Portland Branco (CPB);

f) Estão em fabricação também o Cimento Portland de Moderada Resistência Portland a Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação (MRS), e o Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos (ARS), obedecendo à NBR 5737 (Especificação Brasileira EB-903/77).

E. 1 - Exigência das normas

As principais exigências, particularmente da NBR 5732 (EB-1/77), que interessam sobretudo ao consumidor de cimento, são a seguir indicadas:

E. 1. 1 - Quanto à composição química

E. 1. 1. 2 - Perda ao fogo

O ensaio de perda ao fogo - NBR 5743 (MB- 510) - se faz por diferença de pesagens de amostra de cimento Portland elevada à temperatura de 900 °C a 1000 oC em cadinho de platina. Dessa forma mede-se:

- a) **perda de água de cristalização** - o que constitui uma indicação sobre o eventual início de hidratação do cimento;
- b) **perda de CO₂** - se houve início de carbonatação (reação com CO₂ do ar) ou se existir, misturado no cimento, pó de CaCO₃; e
- c) **a perda ao fogo** é de, no máximo. 4,0% de acordo com a NBR 5732 (EB- 1/77).

E. 1. 1. 3 - Resíduo insolúvel

Com exceção dos cimentos pozolânicos, todos os outros tipos de cimentos têm o resíduo insolúvel fixado em 1% nas respectivas normas - NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735 e NBR 5737 (EB-1, EB- 2, EB- 208 e EB-903). A determinação do resíduo insolúvel é feita pela NBR 5744 (método ABNT MB- 511), mediante ataque pelo ácido clorídrico (HCl) diluído. Ora, os silicatos e aluminatos do clínquer Portland e , também, das escórias de alto forno, são todos solúveis e, assim sendo, o resíduo insolúvel deve provir de outras fontes.

E. 1. 1. 4 - Trióxido de enxofre (SO₃)

O teor admitido varia de 3% a 4% conforme o tipo de cimento e sua determinação é feita pelo ensaio realizado de acordo com a NBR 5745 (método ABNT MB-512). O clínquer Portland, na fabricação dos diversos tipos de cimento Portland, por ocasião da moagem final, recebe certa quantidade de gesso (CaSO₄ . 2H₂O), com o objetivo de regular o tempo de início de pega. O gesso, entretanto, influi poderosamente em outros característicos do cimento, como a retração, resistência à compressão, etc. Tornando a operação de dosagem do gesso bastante delicada.

E. 1. 1. 5 - Óxido de magnésio

Especificações para diversos tipos de cimento Portlando se fixam entre 6% e 6,5% o teor máximo admissível o cimento, quando ensaiado pela NBR 5749 (método ABNT MB-516). O MgO no cimento pode apresentar-se sob a forma cristalina, denominada periclásio, ou dissolvida no vidro. O periclásio, quando presente em quantidade elevada (acima de 6%), segundo a opinião de alguns autores e quando o cimento for empregado em obra em contato frequente ou permanente com água, pode transformar-se em brucita ($Mg(OH)_2$) com aumento de volume e possibilitando, em certos casos a formação de fissuras no concreto. Estudos recentes parecem evidenciar que a pressão proveniente da formação de cristal hidratado de MgO é muito baixa e, portanto, tais cristais não podem se formar em peças de concreto sujeitas a tensões de compressão apreciáveis.

E. 1. 2 - Quanto às características físicas

E. 1. 2. 1 - Grau de moagem - finura

A hidratação dos grãos de cimento em contato com a água se faz da superfície para o interior, deste modo, o grau de moagem influirá sobre a rapidez da hidratação e, conseqüentemente, sobre o desenvolvimento de calor, retração e aumento de resistência com a idade.

Deste modo, um elevado grau de divisão conduzirá a cimentos que endurecem mais rapidamente e mais resistentes à penetração da água, bem como a pastas mais homogêneas e estáveis. Em contrapartida liberarão maiores quantidades de calor, darão uma retração maior e por isso serão mais sensíveis ao fissuramento e a um armazenamento longo no depósito ou na obra.

As dimensões dos grãos do cimento Portland podem ser avaliadas por meio de vários ensaios, porém, praticamente, só se utilizam os seguintes:

a) **por peneiramento** - NBR 7215 (ABNT MB- 1): a peneira empregada o ensaio é a ABNT 0,075 mm (nº 200) e deve satisfazer à norma NBR (EB-22). a norma indica para o CPS um resíduo máximo de 8% par os tipos 25 e 32, e máximo de 6% para o tipo 40;

b) **pela superfície específica Blaine**, medida de acordo com a NBR 7224 (método ABNT MB- 348), são os seguintes valores mínimos:

- CPS tipo 25 $\rightarrow 2.400\text{cm}^2/\text{g}$

- CPS tipos 32 e 40 → 2.600cm²/g
- AF tipo 320 → 2.800 cm²/g
- POZ tipo 320 → 3.000 cm²/g
- ARI → 3.000 cm²/g

E. 1. 2. 2 - Pega e endurecimento

O tempo que decorre desde a adição de água até o início das reações com os compostos de cimento é a chamado tempo de *início de pega*.

Um cimento misturado com certa quantidade de água, de modo a obter uma pasta plástica, começa a perder esta plasticidade depois de um certo tempo.

Este fenômeno de início de pega se evidencia pelo aumento brusco de viscosidade da pasta e pela elevação da temperatura..

Convencionou-se denominar *fim de pega* a situação em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido

A seguir a massa continua a aumentar em coesão e resistência, denominando-se esta fase de *endurecimento*.

A duração da pega é influenciada pelos seguintes fatores:

- Cimentos ricos em C₃A, que é o composto que reage imediatamente com água, dão pega muito rapidamente, devendo ser corrigido este tempo de início de pega pela adição de gesso. A formação de sulfoaluminato retarda a hidratação.

- A duração da pega varia na razão inversa do grau de moagem. Os cimentos moídos muito fino dão início de pega mais rápido e fim de pega mais demorado que os menos finos.

- A quantidade de água empregada na confecção da pasta influenciará a pega, verificando-se tempos de início de pega menores, para maiores quantidades de água de amassamento.

- O aumento de temperatura diminui o tempo de pega, utilizando-se este conhecimento para acelerar a pega em certas técnicas de pré-fabricação. Temperaturas próximas de 0 oC retardam as reações, e pouco abaixo deste valor as paralisam.

- Certos compostos solúveis aceleram a pega, como o cloreto de cálcio (em porcentagem superior a 0,5%), o cloreto de sódio e alcalinos(potassa, soda) e outros agem como retardadores de pega como gesso, carbonato de sódio, óxido de zinco, açúcar, bórax, tanino, ácido fosfórico.

Com relação ao tempo de início de pega, os cimentos são classificados em cimentos de pega normal, onde o início de pega se dá num tempo superior a uma hora e o fim de pega ocorre de 5h a 10h após a adição de água, e cimentos de pega rápida onde o fenômeno de pega se inicia e termina em poucos minutos.

O tempo de início de pega determinado de acordo com a NBR 7215 (MB-1) deve ser, no mínimo, de uma hora. Esse dado permite avaliar o tempo em que as reações que provocam o início do endurecimento do concreto, devido ao cimento empregado, não são perturbadas pelas operações de transporte, colocação nas fôrmas e adensamento. Em obras especiais, como em barragens, cujo adensamento entre duas camadas contíguas toma mais tempo, usa-se, na fabricação do concreto, aditivo retardador de início de pega.

O tempo de fim de pega determinado de acordo com a NBR 7215 (MB-1) deve ser, no máximo, de 10 horas. Esse ensaio é facultativo.

E. 1. 2. 3 - Estabilidade de volume

Os quatro compostos fundamentais do cimento não podem produzir instabilidade, pois, seus volumes, após a hidratação, ainda que maiores do que os dos anidros, permanecem inferiores à soma dos volumes dos anidros com o da água necessária à hidratação.

Ao contrário, a cal e a magnésia, livres e cristalizadas, se hidratam sem dissolução prévia, passando a um estado pulverulento com marcada expansão

Os trabalhos de Lerch e Taylor puseram em evidência o periclásio, magnésia cristalizada, o responsável pela expansão excessiva, não tendo qualquer contribuição a magnésia dissolvida.

Os ensaios de verificação da expansibilidade são executados com a utilização das agulhas de Le Chatelier, que, apesar de imprecisas, apresentam como vantagem o equipamento reduzido e a facilidade de execução

A presença de teor elevado de MgO no cimento poderá, em certos casos, provocar efeitos expansivos no concreto, o mesmo podendo ocorrer com a presença de cal livre (CaO) no clínquer.

Os efeitos eventualmente nocivos, devidos à presença anormal de MgO, CaO livre e, às vezes, CaSO₄ em excesso, são detectados de um modo global por meio de ensaios acelerados, entre os quais, o das agulhas de Le Chatelier, previsto nas normas: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 e NBR 5735 (EB- 1/77, EB- 2/74, EB-208/74, EB- 758/74 e EB- 903/77).

O ensaio é feito a frio e a quente, com pasta preparada com o cimento em exame, e o afastamento medido nas extremidades das agulhas deve ser inferior a 5mm.

O ensaio a frio não é exigido pela NBR 5732 (EB- 1/77). Trata-se de um ensaio simples:

a) quando realizado a frio evidencia a presença de quantidade excessiva de cal livre e/ou sulfato de cálcio, e;

b) quando realizado a quente, indica presença, anormal de cal livre e/ou magnésio, em forma de periclásio.

E. 1. 2. 4 - Calor de hidratação

As reações de pega e endurecimento dos concretos são exotérmicas.

O aumento de temperatura é mais sensível em concreto massa, visto a dissipação do calor fazer-se pela superfície e ser ele gerado proporcionalmente ao volume.

A quantidade de calor liberado é função da composição do clínquer e é definido como sendo a quantidade de calor, em calorias por grama de cimento anidro, desenvolvida depois da completa hidratação, a uma dada temperatura.

O calor gerado aumenta com a finura do cimento menos rapidamente que a resistência e é possível compensar a diminuição de resistência inicial, devida a uma composição pobre em C₃A, por uma moagem mais enérgica.

Estudos demonstram que 90% do calor é liberado aos 28 dias, atingindo cerca de 50% aos 3 dias de idade.

E. 1. 2. 5 - Resistência aos esforços mecânicos

A necessidade de qualificar o cimento, do ponto de vista de sua resistência aos esforços mecânicos, pode ser encarada de dois modos distintos:

1) O primeiro, para verificar, considerados vários cimentos, qual a ordem de qualidade entre eles, sem preocupar-se com valores absolutos;

2) O segundo, tendo em vista a utilização futura do aglomerante nas argamassas e concretos, isto é, o conhecimento através de um endereço prévio de comportamento do cimento nas peças com ele fabricadas.

O ensaio da pasta pura não é representativo, não só porque a quantidade de água de amassamento é muito diferente da necessária para as argamassas e concretos, como também

porque a pasta tem leis de variação da resistência com o tempo, diversa do cimento adicionado a um agregado.

Ensaia-se, pois, o cimento sob a forma de argamassas, de mais fácil execução e mais representativa.

Poderá a argamassa estar submetida às solicitações de tração, compressão ou flexão.

O mais importante é o ensaio de compressão, por se tratar de material frágil.

O ensaio de tração poderá ser feito sobre os corpos de prova em forma de oito, por compressão diametral de cilindro (Lobo Carneiro) ou por tração pura em prismas submetidos à força centrífuga.

No ensaio de compressão, poderá ser utilizado ou o corpo de prova de formato cúbico ou o cilíndrico.

A resistência à compressão é uma das características mais importantes do cimento Portland e é determinado em ensaio normal descrito na NBR 7215 (MB-1).

Os cimentos CPS, AF, POZ, ARS, MRS e ARI devem apresentar, no mínimo, as seguintes resistências, indicadas na tabela abaixo:

Resistência à compressão

TIPO DE CIMENTO	IDADE (dias)	CLASSE		
		25	32	40
Cimento Portland Simples (CPS)	3	8	10	14
	7	15	20	24
	28	25	32	40
Cimento Portland Alto Forno (AF)	3	8	10	---
	7	15	18	---
	28	25	32	---
Cimento Portland Pozolânico (POZ)	3	7	10	---
	7	15	18	---
	28	25	32	---
	90	32	40	---
Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos	3	---	---	---
	7	---	10	---
	28	---	20	---
Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação (MRS)	3	---	7	---
	7	---	13	---
	28	---	25	---
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI)	1		11	
	3		22	
	7		31	

O ensaio de resistência à compressão é feito em nosso país de modo diferente do adotado em outros países, pois o corpo de prova é o cilindro de 5 cm x 10 cm, enquanto na

maioria dos países, se adota o cubo ou a metade de um pequeno prisma após a ruptura por reflexão.

O ensaio é feito com argamassa normal, de traço 1:3, com emprego de areia normal produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que deve satisfazer à norma ABNT 18:00-001. Hoje, estuda-se que a substituição em nosso país, dessa areia pela areia normal, que apresenta algumas vantagens.

A NBR 7215 (MB-1/78) fixa o fator água/cimento em 0,48 para o ensaio normal.

Os resultados do ensaio de resistência realizado em cilindros apresentam o notável interesse de conduzirem a valores de resistência à compressão muito próximos dos obtidos em cilindros de concreto, em igualdade de condições: idade, fator água/cimento e qualidade dos agregados.

E. 2 - Hidratação do cimento Portland

O cimento Portland é constituído por um certo número de compostos, cujas reações são a origem do processo de endurecimento.

Os compostos presentes no cimento Portland são anidros, mas, quando postos em contato com a água, reagem com ela, formando produtos hidratados. A hidratação do cimentos consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis.

As questões técnicas relacionadas com a hidratação do cimento Portland são extremamente complexas. Há, entretanto, alguns aspectos gerais que permitem que se forme uma idéia global da questão, encarada do ponto de vista de cristalização e das reações químicas.

E. 2. 1 - Cristalização

Os compostos anidros do cimento Portland reagem com a água (hidrólise), dando origem a compostos hidratados de duas categorias:

- a) compostos cristalinos hidratados, e,
- b) gel.

Em síntese, um grão de cimento que tenha cerca de 50×10^{-6} m de diâmetro médio, entrando em contato com a água, começa, no fim de algum tempo, a apresentar em sua superfície, sinais de atividade química, pelo aparecimento de cristais que vão crescendo lentamente e pela formação de uma substância gelatinosa que o envolve, ou seja, o gel. O gel

que se forma inicialmente possui uma porcentagem muito elevada de água e é designado por gel instável (o gel é uma gelatina, sendo o gel instável uma gelatina muito mole). Os compostos cristalinos, para se desenvolverem, necessitam de água, que ao cabo de pouco tempo é inteiramente transformada em gel. O processo de desenvolvimento dos cristais se faz retirando-se a água do gel instável, que à medida que vai perdendo água, transforma-se em gel estável e torna-se responsável, em grande parte, pelas propriedades mecânicas de resistência das pastas hidratadas endurecidas.

Analisando com mais detalhe, constata-se que os principais compostos, silicatos tricálcicos e dicálcicos, durante a reação com a água, liberam hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Os cristais formados apresentam-se alongados, prismáticos, ou em agulhas de monossilicatos de cálcio hidratados.

Esses cristais aciculares acabam se entrelaçando à medida que avança o processo de hidratação, criando a estrutura que vai assegurar a resistência típica das pastas, argamassas e concretos. Os espaços vazios são preenchidos principalmente pelo gel, hidróxido de cálcio e água.

Inicialmente, o aluminato entra em atividade e logo a seguir, o C_3S . Esses dois elementos para se hidratarem, retiram a água de que necessitam do gel instável e a formação de cristais hidratados se inicia.

À medida que o tempo passa, o gel vai cedendo cada vez mais água até transformar-se, como já foi dito, em estável, com uma estrutura subcristalina que impede a saída de novas quantidades de água.

E o que é o gel? Ainda há cerca de 30 anos, supunha-se que o gel fosse um produto amorfo resultante da hidratação do cimento. Os ensaios de determinação de superfície específica BET por absorção de nitrogênio, e pela sua observação ao microscópio eletrônico, acabaram revelando ter o gel uma estrutura descontínua, possuindo pequenos cristais, talvez de $\text{C}_3\text{S}_2 \cdot \text{aq}$, de dimensões da ordem de 15 Ångstrons e separados uns dos outros em média por 9 Ångstrons. Esse espaço é preenchido por água, dita não evaporável (tensão superficial da ordem de 250 MPa). Na massa do gel, há, entretanto, descontinuidades submicroscópicas, formando canalículos do gel, apresentando maiores dimensões que, entretanto, são ainda da ordem de $0,1 \times 10^{-6}\text{m}$.

Para se ter uma idéia da atividade dos vários compostos ao se hidratarem, é interessante observar a tabela abaixo relativa à profundidade alcançada pela hidratação em microns com o tempo.

Hidratação dos Principais Compostos do Cimento

TEMPO	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S
3 horas	4,35	1,68	-----
1 dia	----	2,25	0,20
3 dias	5,60	----	-----
7 dias	-----	4,32	0,62
28 dias	5,60	4,44	0,83
5 meses	-----	-----	3,50

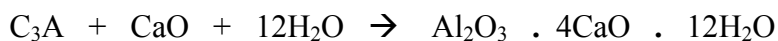
A inspeção da tabela evidencia que a resistência do cimento Portland:

- a) até 3 dias - é assegurada pela hidratação dos aluminatos e silicatos tricálcicos.
- b) até os 7 dias - praticamente pelo aumento da hidratação de C₃S;
- c) até os 28 dias - continua a hidratação do C₃S pelo aumento de resistência, com pequena contribuição do C₂S, e,
- d) acima de 28 dias - o aumento de resistência passa a ser devido à hidratação de C₂S.

E. 2. 2 - Reações químicas

Os compostos anidros do cimento Portland reagem com a água, por hidrólise, dando origem a numerosos compostos hidratados. Abreviadamente são indicadas algumas das principais reações de hidratação dos compostos do cimento:

a) O C₃A é o primeiro a reagir, da seguinte forma:

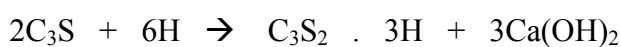


b) O C₃S reage a seguir:



(228)

(148)

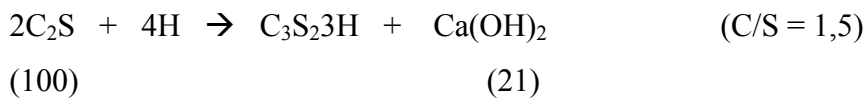
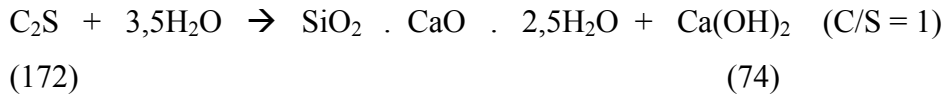


(100)

(49)

dando origem aos silicatos monocálcicos hidratados.

c) O C₂S reage muito mais tarde, do seguintes modo:



Os silicatos de cálcio anidro dão, origem a silicatos monocálcicos hidratados e ao hidróxido de cálcio que cristaliza em escamas hexagonais dando origem à Portlandita.

O silicato de cálcio hidratado apresenta-se com semelhança ao mineral natural denominado tobermorita e como se assemelha com um gel é denominado gel de tobermorita.

Porém, a composição do silicato hidratado depende da concentração em cal da solução em que ele está em contato. Em presença de uma solução saturada de cal, o silicato de cálcio hidratado passa a ser $1,7 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$.

F - Cimentos Portland com adições ativas

Como já indicado anteriormente, o clínquer Portland pode ser moído com adição de, além de gesso, um material que possua propriedades hidráulicas por si só ou quando em contato com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento.

As adições ativas mais comumente empregadas são as seguintes:

- a) Escórias granuladas de alto forno.

A escória granulada de alto forno "é o subproduto do tratamento do minério de ferro em alto forno, obtido sob forma granulada por esfriamento brusco e constituído em sua maior parte de silicatos e alumino-silicatos de cálcio". A sua composição química deve obedecer à relação, fixada na norma NBR 5735 (EB- 208) da ABNT:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} - 1/3 \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3} \geq 1$$

Isto significa que as escórias destinadas à fabricação do cimento devem ser alcalinadas e não ácidas. Somente as escórias alcalina possuem por si só características de hidráulidade e isto acontece pelo fato de terem uma composição química que permite a formação de componentes capazes de produzirem, por resfriamento brusco um estado vítreo com propriedades hidráulicas latentes. A natureza do processo no alto forno e o estado físico da escória são fatores decisivos para o desenvolvimento das propriedades hidráulicas da escória granulada.

Exemplos de análise química de escória granulada de alto forno.

SiO ₂	35,54	36,10
Al ₂ O ₃	12,46	11,18
Fe ₂ O ₃	0,40	0,41
CaO	41,64	43,19
MgO	6,01	5,59
MnO	1,94	1,62
S	1,42	1,33
Total	99,41	99,42
Índice Hidráulico	1,27	1,22

b) Pozolanas

A norma NBR 5736 (EB-758) - Cimento Portland Pozolânico define na seção 2.3.1: Pozolana " é o material silicoso ou sílico-aluminoso, que por si só possui pouco ou nenhum valor aglomerante, porém, quando finamente dividido e em presença de umidade reage quimicamente com hidróxido de cálcio, à temperatura normal, formando compostos com propriedades aglomerantes".

E na seção 2.3.2: "os materiais pozolânicos empregados na fabricação de cimento Portland pozolânico são os seguintes:

- pozolanas naturais: como algumas terras diatomáceas, rochas contendo minerais de opala, tufos e cinzas vulcânicas;
- pozolanas artificiais: obtidas pela calcinação conveniente e argilas e xistos argilosos;
- cinzas volantes: resultantes da combustão de carvão mineral, usualmente das usinas termoelétricas".

Os métodos brasileiros para a determinação da atividade pozolânica são:

- NBR 5751 - método de determinação de atividade pozolânica em pozolanas;
- NBR 5752 - determinação do índice de atividade pozolânica em cimento Portland;

- NBR 5753 - método de determinação de atividade pozolânica em cimento Portland pozolânico.

F. 1 - Cimento Portland de alto forno - NBR 5735

O cimento Portland de alto forno, de acordo com a NBR 5735, é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland e escória granulada de alto forno, com adição eventual de sulfato de cálcio.

O conteúdo de escória granulada de alto forno deve estar compreendido entre 25% e 65% da massa total.

Como já foi visto anteriormente, as resistências obtidas em ensaio normal dos cimentos Portland de alto forno são semelhantes às do cimento Portland comum, nas idades 3, 7 e 28 dias ocorrendo, entretanto, maior incremento de resistências de 28 dias para 90 dias.

Devido a adição de apreciável quantidade de escória de alto forno, o cimento Portland resultante é obtido com um consumo de combustível proporcionalmente menor, o que representa uma grande economia de combustível.

O cimento Portland de alto forno é de emprego generalizado em obras de concreto simples, concreto armado e protendido. Além disso, considera-se indicado seu emprego em concreto exposto a águas agressivas como água do mar e sulfatadas, dentro de certos limites.

"O emprego de cimento Portland de alto forno é de emprego em obras marítimas, sobretudo em países tropicais ou sub-tropicais, e em terrenos com águas sulfatadas, é justificado pelo fato de possuírem pequena proporção de aluminato tricálcico e maior proporção de silicatos de cálcio de menor basicidade, que produzem na hidratação menor quantidade de hidróxido de cálcio".

F. 1. 1 - Hidratação dos cimentos Portland de alto forno

O mecanismo de hidratação dos CPAF é muito mais complexo do que o do CPS, devido à presença de componentes na escória de alto forno, diferentes dos existentes no clínquer Portland.

Na escória de alto forno são encontrados cristais de silicatos duplos de cálcio e alumínio (gehlenita) e de cálcio e magnésio, que se apresentam como montricellita, akermanita, além dos silicatos monocálcicos e dicálcicos.

O poder hidráulico da escória, estando em estado latente, exige a presença de pequena quantidade de um componente químico, que possa atuar como catalizador, para despertar toda a sua atividade hidráulica e transformá-la em energia dinâmica.

O componente que atua neste caso é o hidróxido de cálcio, libertado durante a hidratação dos silicatos componentes do clínquer.

É importante esclarecer que a escória utilizada na fabricação do cimento é alcalinae, portanto, não tem ação pozolânica, isto é, não tem condições de combinar com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do clínquer, o hidróxido de cálcio age apenas como catalizador básico, para despertar a ação hidráulica dos componentes da

F. 2 - Cimento Portland pozolânico - NBR 5736

O cimento Portland pozolânico, de acordo com a NBR 5736, é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem da mistura de clínquer Portland e pozolana, sem adição, durante a moagem de outra substância a não ser uma ou mais formas do sulfato de cálcio.

De acordo com a Seção 3.1 da norma acima citada, o teor de pozolana é de 10% a 40% da massa total do cimento porland pozolânicos de resistência comparáveis aos demais tipos 25 e 32.

As pozolanas ativas, quando adicionadas dentro dos limites acima indicados, dão origem a cimentos Portland pozolânicos de resistências comparáveis aos demais tipos de cimento Portland comum e conduzem também, a cimentos com aumento de resistência muito maior, de 28 dias para 90 dias.

Devido à adição de pozolanas, o cimento Portland pozolânico também conduz em sua produção, apreciável economia de combustível.

O cimento Portland pozolânico é de emprego generalizado no concreto não havendo contra-indicação quanto ao seu uso, desde que respeitadas as sua peculiaridades, principalmente quanto às menores resistência nos primeiros dias e a necessidade conseqüente de cuidadosa cura.

O seu emprego é aconselhável quando se emprega agregados alcalireativos, pois as reações expansivas possíveis são inibidas.

F. 2. 1 - Hidratação do cimento Portland pozolânico

As pozolanas são materiais que, embora não possuam por si só propriedades hidráulicas, são capazes de se combinar com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente e em presença de água, dando origem à compostos que possuem propriedades hidráulicas.

Assim, o hidróxido de cálcio liberado por ocasião da hidratação dos silicatos de cálcio do clínquer Portland, em grande quantidade (cerca de metade da massa dos silicatos existentes no clínquer) nos cimentos Portland pozolânicos, reage com a pozolana, dando origem a compostos hidratados estáveis, do mesmo tipo dos que se formam na hidratação dos silicatos do clínquer (silicatos de cálcio hidratados - CSH), porém distintos, pois têm menor relação CaO/SiO_2 , portanto, menos básicos e por essa razão, quimicamente mais estáveis aos meios agressivos.

F. 3 - Cimento Portland branco

O cimento Portland branco é um cimento Portland comum, produzido com matéria-prima que não apresente coloração prejudicial à sua brancura.

Assim, reduz-se ao mínimo o teor de ferro, sendo evitado o emprego de argilas que contenham ferro e outros elementos como manganês, magnésio, titânio, etc.

Os óxidos de ferro usados na fabricação cimento são fundentes e, portanto, reduzem o temperatura de clinquerização. No caso dos cimentos brancos, devido a ausência de fundente, a clinquerização se dá a temperaturas mais elevadas, da ordem de $1.500\text{ }^\circ\text{C}$, acarretando o emprego, no forno de refratários de maior custo, além de exigir maior consumo de combustível.

O cimento Portland branco apresenta resistência à compressão elevada, mas seu emprego geralmente visa fins estéticos e como matéria-prima na fabricação de tintas. Guias e sarjetas revestidas de argamassa de cimento branco tem seu uso indicado no interior de túneis, sub-solo de edifícios, etc.

G - Especificações.

G. 1 - Classificação dos cimentos

As normas brasileiras (NBR) classificam os seguintes cimentos Portland:

- Cimento Portland Simples (CPS)
- Cimento Portland com Escória (CPE)

- Cimento Portland com Pozolana (CPZ)
- Cimento Portland Pozolânico (POZ)
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI)
- Cimento Portland de Alto Forno (AF)
- Cimento Portland Branco (CBP)
- Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação (MRS)
- Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos (ARS)

G. 2 - Quanto a características físicas.

G. 2. 1 - Grau de moagem - finura

Determinado pelo ensaio de peneiramento (resíduo máximo de 15%), havendo a tendência de substituí-lo por uma determinação da superfície específica Blaine.

G. 2. 2 - Início de pega

O tempo de início de pega deve dar no mínimo uma hora, para ser considerado normal a pega.

G. 2. 3 - Fim de pega

O tempo de fim de pega deve ser no máximo de 10 horas.

G. 2. 4 - Expansabilidade

O afastamento medido nas extremidades das agulhas de Le Chatelier deve ser inferior a 5mm.

G. 2. 5 - Resistência à compressão

Com relação à resistência à compressão, o ensaio executado em corpos de prova cilíndricos deverá dar os seguintes valores mínimos, obtidos pelas médias de 6 corpos de prova.

IDADE EM DIAS	RESISTÊNCIA EM MPa		
	CP-25	CP-32	CP-40
3	8	10	14

7	15	20	24
28	25	32	40

G. 3 - Quanto a composição química

Referente à composição química, são fixados os seguintes limites máximos:

- Perda ao fogo → 4,0 %
- Resíduo insolúvel → 1,0 %
- Óxido de magnésio (MgO) → 6,0 %
- Trióxido de enxofre (SO₃) → 3,0 %

H - Conclusão

O Brasil já produz os principais tipos de cimento Portland que foram estudados nas páginas anteriores. Outros tipos de cimento são fabricados e utilizados em outros países, cabendo destacar principalmente:

- a) o cimento aluminoso e,
- b) o cimento Portland de expansão controlada.

O cimento aluminoso dá origem a um concreto de muito alta resistência inicial e de alta resistência à temperatura elevadas.

O cimento Portland de expansão controlada, como o nome indica, é um cimento que permite apresentar pequena expansão. O uso desses cimentos, por enquanto, está restrito aos Estados Unidos, Rússia e Japão.

AGREGADOS

A. Conceituação

Entende-se por agregado, o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.

São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha.

Os agregados desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como retração, aumento da resistência ao desgaste, entre outros sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade tem resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante.

B. Classificação

B. 1 - Quanto à origem

- Naturais : aqueles que já são encontrados na natureza sob a forma de agregados (areias, pedregulhos, seixos rolados).

- Artificiais : aqueles que necessitam de um trabalho de afeiçoamento pela ação do homem, a fim de chegar à situação de uso como agregado (areias e pedras obtidas por moagem de fragmentos maiores).

B. 2 - Quanto à massa específica aparente

- Leves : pedra-pomes, vermiculita, argila expandida;

- Normais : areia, seixos, pedra britada;
- Pesados : barita, magnetita, limonita.

B. 3 - Quanto ao tamanho

- Agregado Graúdo : o material que fica retido na peneira de abertura de malha # 4,8 mm de lado, entendendo-se como material com até 15% de grãos mais finos que a peneira especificada.

-Agregado Miúdo : o material que passa na peneira de abertura de malha quadrada de 4,8 mm de lado, entendendo-se por material que passa aquele que contém até 15% de grãos retidos na peneira especificada.

C. Obtenção

Alguns agregados são obtidos por extração direta do leito dos rios, por meio de dragas (areias, seixos), e, às vezes, de minas (areias).

Devem sofrer em beneficiamento, que consiste em lavagem e classificação.

A pedra britada é obtida por redução de pedras maiores por trituração em britadores.

A obtenção de agregados para concreto pode ser operação relativamente fácil quando se dispõe do suficiente conhecimento da região, com as informações necessárias. Assim, no entorno das cidades, em geral, há um acervo de conhecimentos do solo que conduzem facilmente o tecnólogo a encontrar jazidas dos melhores materiais da região.

Entretanto, as grandes obras, tais como barragens, estradas, são normalmente construídas em locais ainda relativamente desconhecidos. Desta forma, um plano eficiente de prospecções é da máxima importância, e ainda na fase de pré-viabilidade de um grande projeto, o tecnólogo de concreto deve ser ouvido a respeito da possibilidade de utilização dos materiais da região. Tem-se conhecimento de um grande número de obras que após o início da construção, quando grandes importâncias já haviam sido gastas, foi descoberta a total impossibilidade de execução do concreto com os materiais locais e como a importação de materiais de outra região tornaria o empreendimento inviável - foram, assim, abandonadas com grandes prejuízos.

A fase final de prospecção e exploração deve sempre contar com um geólogo experiente, o qual deverá orientar os seus estudos, tendo em vista a finalidade básica da exploração dos materiais : execução de um concreto com as qualidades mínimas desejadas.

A prospecção pode ter diferentes orientações e profundidades, a depender da quantidade de material de que se necessita, da localização da obra, do conhecimento da

região, da maior ou menor facilidade de acesso às possíveis jazidas, enfim, da situação particular de cada caso. Mesmo após terem sido encontradas jazidas convenientes, é necessário o estudo das possibilidades de exploração, não só do ponto de vista físico, mas do legal. Muitas vezes, a desapropriação de áreas, compra de sítios, restrições de desmatamentos, enfim, uma série de problemas de ordem legal, podem tornar anti-econômica a exploração de uma boa jazida de agregados.

Entre os elementos com que se deve contar, numa primeira aproximação, estão os levantamentos aerofotogramétricos, mapas geológicos da região, dados dos ensaios geofísicos, sondagens em geral, ou seja, todos os documentos que possam ser obtidos. Tais elementos muitas vezes são encontrados nos diversos órgãos do governo (federal, estadual ou municipal) que já tenham se interessado pela região.

Após um primeiro exame do problema, baseado em tais informações, é importante o estudo das jazidas através da coleta de amostras dos respectivos materiais, os quais, enviados ao laboratório, são submetidos a ensaios de caracterização.

Finalmente, havendo opções, deve-se escolher a jazida de mais interesse do ponto de vista econômico, isto é, aquela que possa trazer o melhor índice custo/benefícios.

C. 1 - Agregados naturais

Conforme já foi dito naturais são aqueles que encontramos na natureza prontos para serem utilizados. Alguns necessitarão apenas de um rápido processamento de lavagem e classificação, o que não os exclui dessa categoria.

Dessa forma, cabe ao tecnólogo encontrar tais agregados na região onde se vai instalar a obra, para o qual uma pesquisa das jazidas disponíveis é fundamental.

A areia e o pedregulho são provenientes da erosão, transporte e deposição de detritos da desagregação de rochas, realização pelos agentes do intemperismo, tanto de origem física (variação de temperatura) como química (soluções ácidas ou básicas sobre os elementos mineralógicos).

Com relação à origem geológica, as jazidas classificam-se, conforme seus próprios depósitos, em:

a) Residuais: que são os depósitos encontrados nas proximidades da rocha matriz. Possuem, em geral, boa granulometria, porém, grande quantidade de impureza;

b) Eólicos: são depósitos de material muito fino, com má granulometria, porém, com grande pureza; são formados pela ação do vento (dunas);

c) Aluviais: formados pela ação transportadora das águas, podendo ser estes fluviais ou marítimos. Os marítimos, em geral, apresentam má granulometria, enquanto que os fluviais são, normalmente, os melhores agregados encontrados na natureza.

Quanto ao tipo de jazida, temos que considerar a divisão:

- a) Bancos: quando a jazida de forma acima do leito do terreno;
- b) Minas: quando formada em subterrâneo;
- c) Jazidas de rio: que podem formar-se e nas margens;
- d) Jazidas de mar: praias e fundo do mar.

Para facilitar de localização de uma jazida de rio (areia ou pedregulho), pode-se adotar as seguintes regras apresentadas pelo professor Pizarro:

- 1) quando na sondagem se constatar material fino no rio, sabe-se que a jusante não deve haver areia ou pedregulho;
- 2) areia ou pedregulho no leito atual do rio indicam que há material análogo no vale, caso este se estenda em planície;
- 3) areia e pedregulho podem ser encontrados no ponto em que o rio se alarga reduzindo sua velocidade;
- 4) quando um rio que tem capacidade para transportar areia e pedregulho desemboca em outro de menor velocidade, aí há depósito desses materiais.

C. 2 - Agregados artificiais

Agregados artificiais são obtidos através da redução do tratamento de pedras grandes, geralmente por trituração em equipamentos mecânicos (britadoras).

O processamento necessário para transformar o material de uma determinada jazida em agregado de qualidade satisfatória para o uso em concreto, pode ser simples ou complexo, a depender de uma série de fatores. A escolha do equipamento e do *lay-out* das instalações de britamento e peneiramento é elemento da máxima importância para a obtenção do agregado conveniente a custos mais reduzidos.

Atualmente encontram-se no mercado, instalações completas para o processamento de agregados, onde as diferentes unidades ficam acondicionadas em conjunto formando um bloco único. Entretanto, é necessário que se verifique a conveniência da utilização de cada um dos elementos para o caso enfocado.

Ora, este fator terá sua granulometria totalmente diferente daquela para a qual foi projetado. A solução, neste caso, poderá ser a adoção de esteiras móveis, adaptação xicanas na ponta da esteira, enfim qualquer elemento que possa manter o agregado uniforme.

Muitas vezes, a arrumação do agregado nas pilhas de estocagem é efetuada por meio de pás mecânicas. É importante cuidar para que a pá mecânica não venha a subir no agregado, pois este é um fator de contaminação (sujeira e argila conduzidas pelas rodas) e de alteração de granulometria (pressão das rodas).

Deve ser ainda examinada na estocagem dos agregados a necessidade de cobertura e drenagem dos silos, o que será variável em cada caso.

D - Agregado Miúdo

D. 1. 1 - Definição

Entende-se por agregado miúdo normal ou corrente, a areia natural quatzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira de abertura de malha quadrada iguala 4,8mm.

D. 2 - Massa específica e massa unitária

Devem-se distinguir, para o material sob a forma de agregado miúdo, duas espécies de massa específica.

- Massa específica real: é a massa da unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos.

Sua determinação é feita através do picnômetro, da balança hidrostática ou pelo frasco de Chapman. Sempre que não for possível sua determinação, deve-se adotar o valor de 2,65 kg/dm³.

- Massa específica aparente: é a massa da unidade de volume, incluindo neste, os vazios, permeáveis ou impermeáveis, contidos nos grãos.

- Massa unitária: é a massa da unidade de volume aparente, isto é, incluindo no volume os vazios entre os grãos.

A massa unitária tem grande importância na tecnologia, pois é por meio dela, que se podem as composições das argamassas e concretos dadas em peso para o volume e vice-versa.

A massa unitária é influenciada pelos seguintes fatores:

- modo de enchimento do recipiente;
- forma e volume do recipiente;

- umidade do agregado.

Quanto ao modo de enchimento, podemos fazer variar a massa unitária, conforme a areia seja apenas lançada (massa unitária no estado solto) ou lançada e adensada (massa unitária compactada).

O valor da massa unitária no estado solto de uma areia média em estado seco, é aproximadamente de 1,50 kg/dm³.

D. 3 - Umidade e absorção

De acordo com o teor de umidade, podemos considerar o agregado nos seguintes estados:

- seco em estufa, na qual toda a umidade, externa e interna, foi eliminada por um aquecimento a 100 °C ;

- seco ao ar, quando não apresenta umidade superficial, tendo, porém, umidade interna, sem estar, todavia, saturada;

- saturado, superfície seca, quando a superfície não apresenta água livre ,estando, porém, cheios dela os vazios permeáveis das partículas dos agregados;

- saturado, quando apresenta água livre na superfície.

O teor de umidade no estado saturado, superfície seca, é o que se denomina **absorção**.

D. 4 - Inchamento

A areia, quando usada em obra, apresenta-se mais ou menos úmida, o que se reflete, de forma considerável, sobre sua massa unitária.

A água livre aderente aos grãos provoca afastamento entre eles, do que resulta o inchamento do conjunto. Esse inchamento, depende da composição granulométrica e do grau de umidade, sendo maior para as areias finas que apresentam maior superfície específica.

O inchamento máximo ocorre para teores de umidade de 4% a 6%.

D. 5 - Granulometria

Denomina-se composição granulométrica de um agregado miúdo a proporção relativa, expressa em porcentagem, dos diferentes tamanhos de grãos que se encontram constituindo o todo.

A composição granulométrica ou granulometria do agregado, como é usualmente conhecida, é determinada por peneiramento.

Para os agregados miúdos é utilizada para o ensaio de peneiramento a série normal de peneiras constituídas pelas aberturas de malha quadrada de : 0,15 ; 0,30 ; 0,60 ; 1,20 ; 2,40 ou 4,80 mm.

D. 5. 1 - Dimensão máxima dos agregados

Denomina-se dimensão máxima do agregado a abertura da peneira em que ficar retida, acumulada, uma percentagem igual ou imediatamente inferior a 5%.

Denomina-se módulo de finura a soma das percentagens retidas, acumuladas, dividida por 100.

As areias, de acordo com seu módulo de finura, podem ser classificadas em:

- muito grossa (pedrisco) → M. F. > 3,90
- grossa → 3,90 > M. F. > 3,30
- média → 3,30 > M. F. > 2,40
- fina → 2,40 > M. F.

D. 6 - Impurezas

D. 6. 1 - Material pulverulento

É constituído de partículas de argila (<0,002 mm) e silte (0,002 mm a 0,006 mm).

O efeito real da argila depende, muito especialmente, da maneira como se apresenta e da proporção de vazios da areia, assim como, da perfeição da operação de mistura e da quantidade de água de amassamento utilizada na argamassa ou concreto.

A argila, reduzida a pó muito fino, contribui para preencher os vazios da areia e influi para que o cimento envolva melhor os grãos de areia, ligando-os mais fortemente entre si.

Se a argila forma uma película envolvendo cada grão e não se separa durante a mistura, sua ação é altamente prejudicial, ainda que se encontre em pequena proporção.

A argila pode ser eliminada por lavagem. Esta operação, se por um lado pode eliminar as impurezas, por outro, pode arrastar os grãos mais finos da areia, aumentando o índice de vazios, o que resultará em menor resistência da argamassa.

D. 6. 2 - Impurezas orgânicas

As impurezas orgânicas da areia, normalmente formadas por partículas de húmus, exercem uma ação prejudicial sobre a pega e o endurecimento das argamassas e concretos.

Uma parte de húmus, que é ácida, neutraliza a água alcalina da argamassa e a parte restante envolve os grãos de areia, formando uma película sobre eles, impedindo, desta forma, uma perfeita aderência entre o cimento e as partículas de agregado.

D. 6.3 - Outras substâncias nocivas

As areias podem ainda conter outras substâncias como torrões de argila, gravetos, grânulos tenros friáveis, mica, materiais carbonosos e sais que podem prejudicar a resistência e a durabilidade das argamassas e concretos.

D. 7 - Areias artificiais

As areias artificiais, são obtidas por moagem de fragmentos de rocha. As melhores areias artificiais são as que provêm de granito e pedras com grande proporção de sílica. As areias provenientes de basalto apresentam, em geral, muitos grãos em forma de placa ou agulha, que irão produzir argamassas ásperas, geralmente as menos trabalháveis.

Outro inconveniente, que pode ser grave, é a existência de elevados teores de material pulverulento.

D. 8 - Índices de boa qualidade

D. 8.1 - Granulometria

Peneiras das aberturas em (mm)	Porcentagens Acumuladas em Peso	
	Zona Ótima	Zona Utilizável
4,8	3-5	0-3
2,4	29-43	13-29
1,2	49-64	23-49
0,6	68-83	42-68
0,3	83-94	73-83
0,15	93-98	88-93

D. 8. 2 - Substâncias nocivas

Substâncias Nocivas	Porcentagem máxima em relação ao peso total (%)
Torrões de argila	1,5
Material Pulvurulento (passado na peneira 0,075 mm)	
1) Areia	
- concreto sujeito a desgaste superficial	3,0
- outros concretos	5,0
2) Pedrisco	
- concreto sujeito a desgaste superficial	5,0
- outros concretos	7,0
Argila em filmes	3,0
Materiais carbonosos	1,0
Cloretos	0,1
Sulfatos	1,0

E - Agregados Graúdos

E. 1 - Definição e classificação

Agregado graúdo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis, com um máximo de 15% passando na peneira de 4,8 mm.

Os agregados devem ser provenientes de rochas estáveis, isto é, inalteráveis sob a ação do ar da água ou do gelo.

As britas, no Brasil, são obtidas principalmente pela trituração mecânica de rochas de granito, basalto e gnaisse.

As pedras britadas são classificadas pelas dimensões de seus grãos. A separação é realizada por peneiramento no local de produção.

Uma classificação de acordo com suas dimensões nominais é dada a seguir, sendo dimensão mínima a abertura da peneira que corresponde uma porcentagem retida igual ou imediatamente superior a 95%.

- Brita 0 → 9,5 - 4,8 mm
- Brita 1 → 19 - 9,5 mm
- Brita 2 → 25 - 19 mm
- Brita 3 → 50 - 25 mm
- Brita 4 → 76 - 50 mm
- Brita 5 → 100 - 76 mm

E. 2 - Formas dos grãos

Os grãos dos agregados podem ser arredondados (seixos rolados), ou de forma angular e de arestas vivas com faces mais ou menos planas (pedra britada).

Esta forma geométrica dos agregados graúdos tem grande importância com fator de qualidade dos concretos. Sob esse aspecto, a melhor forma é a que se aproxima da esfera, para os seixos, e do cubo com as três dimensões espaciais da mesma ordem de grandeza, para as britas.

E 2. 1 - Classificação quanto às dimensões

Os grãos classificam-se em:

- Normais : quando todas as dimensões tem a mesma ordem de grandeza.

- Lamelares: quando há grande variação na ordem de grandeza das três dimensões, podendo ser:

Alongados ou em forma de agulha, quando o comprimento é muito maior que as outras dimensões que por sua vez são da mesma ordem de grandeza;

Discóides ou quadráticos, quando a espessura é muito menor que as outras dimensões, que por sua vez são da mesma ordem de grandeza;

Planos ou em forma de placa, quando as três dimensões diferem muito entre si.

E. 2. 2 - Classificação quanto às arestas, cantos e faces

- **Normais**: que se subdividem em:

Angulosos : com arestas vivas, cantos angulosos e faces planas;

Arredondados : com cantos arredondados, faces convexas e sem arestas.

- **Irregulares**: que se subdividem em:

Grão Conchoidal : apresentando uma ou mais faces côncavas;

Grão Defeituoso : apresentando partes com seções delgadas ou enfraquecidas em relação à forma geral do agregado.

E. 3 - Massa unitária

Denomina-se massa unitária a massa da unidade de volume aparente do agregado, isto é, incluindo no volume os vazios entre os grãos.

Sua importância decorre da necessidade, na dosagem de concretos, da transformação de traços em peso para volume e vice-versa, bem como para cálculos de consumo de materiais empregados por metro cúbico de concreto.

A massa unitária dos agregados graúdos não é sensivelmente afetada por seu grau de umidade e depende muito menos do adensamento que dos agregados miúdos.

No agregado graúdo, a umidade não provoca o fenômeno do inchamento. Haverá apenas um aumento do peso, permanecendo o volume constante. Os agregados graúdos não têm capacidade de retenção de umidade, a absorção é pequena sendo que a água se dispõe em forma de película entre os grãos.

E. 4 - Massa específica

O conceito de massa específica é relacionado às partículas que constituem o agregado. É portanto afetado pelas características das partículas, quer sejam densas e impermeáveis, quer sejam completamente porosas.

A *massa específica aparente* pode ser definida como o peso da unidade de volume aparente dos grãos, incluindo no volume os poros permeáveis e impermeáveis, e excluindo os vazios entre os grãos.

A massa específica real ou absoluta só pode ser obtida reduzindo a pó o material de modo a eliminar o efeito dos vazios impermeáveis.

Na tecnologia do concreto, interessa conhecer, o espaço ocupado pelas partículas, desprezando os vazios internos nelas existentes.

E. 5 - Resistência e durabilidade

Os agregados devem provir de rochas inertes, isto é, sem ação química sobre os aglomerantes e inalteráveis ao ar, à água ou às variações de temperatura.

De acordo com estudos de Stanton, a reação entre certos componentes dos agregados e os hidróxidos alcalinos libertados pelo cimento durante sua hidratação, era a causa da expansão e desintegração de algumas estruturas de concreto.

São fatores decisivos na reação álcali-agregado: o tipo e a concentração de álcalis, a porcentagem de agregados reativos, a umidade, a temperatura, a utilização de pozolanas e as características do concreto.

As pozolanas têm influência sobre as reações álcali-agregado, podendo a reação ser inibida total ou parcialmente e a expansão completamente evitada, mediante uma substituição de quantidades superiores a 15% de cimento por igual peso de pozolana adequada.

E. 6 - Granulometria

A análise granulométrica dos agregados graúdos é realizada por peneiramento nas peneiras superiores à da malha 4,8 mm da série normal. São as seguintes as aberturas da malha das peneiras empregadas na análise granulométrica dos agregados graúdos:

- Série Normal : 4,8 mm - 9,5 mm - 19 mm - 38 mm - 76 mm - 150 mm;
- Série Intermediária : 6,3 mm - 12,5 mm - 25 mm - 50 mm - 100 mm.

O módulo de finura será a soma das porcentagens de grãos retidas acumuladas nas peneiras da série normal, divididas por 100.

A dimensão máxima característica tem conceituação idêntica à dos agregados miúdos, podendo recair numa das peneiras intermediárias.

E. 7 - Impurezas

Os agregados não devem conter impurezas, substâncias nocivas que prejudiquem as reações de endurecimento do aglomerante nos concretos.

Entre as impurezas que podem apresentar os agregados, são de destacar os torrões de argila e o material pulvulento, assim denominado o material de granulometria passante na peneira de abertura de malha 0,075 mm.

Os torrões de argila podem apresentar-se em agregados naturais de mina têm pouca resistência absorvem água em demasia e originam vazios com sua desagregação.

O material pulvulento (argilas e siltes) tem dois inconvenientes principais:

- Recobrendo os grãos do agregado, prejudica a aderência;
- Por outro lado, tendo grande superfície específica, exige água em demasia na aplicação, aumentando assim, a relação água/cimento, acarretando perda de resistência dos concretos.

A eventual presença de material orgânico e sua possível nocividade (reações ácidas que neutralizam as reações de endurecimento dos aglomerantes) podem ser avaliadas por meio de um ensaio de qualidade.

E. 8 - Índices de boa qualidade

Os agregados graúdos, para serem utilizados com proveito nos concretos, devem ter grãos resistentes, duráveis e inertes, não contendo impurezas que prejudiquem o endurecimento do aglomerante e devendo além disso, apresentar boa composição granulométrica. Devem ter, finalmente, uma forma de grãos compatível com as exigências da obra.

Tendo-se em vista ser a resistência do concreto, função do seu constituinte mais fraco, segue-se que o agregado graúdo deve ter resistência maior que a argamassa e características que não a prejudiquem.

As substâncias nocivas devem ter os valores máximos seguintes:

- Torrões de argila → 0,25%
- Material Pulvulento
 - Seixo rolado → 1,00%
 - Pedra britada → 1,50%
- Materiais carbonosos → 1,00%

ÁGUA DE AMASSAMENTO

A. Introdução

Tendo fundamental atuação na obtenção de um concreto adequado às suas finalidades, a água de amassamento demanda especial atenção no que diz respeito à qualidade, uma vez que a idéia geral parte da premissa de que "se a água é boa para beber também será boa para o uso na fabricação do concreto", o que nem sempre traduz a verdade. A presença de pequenas quantidades de açúcar e de citratos não tornam a água imprópria para o consumo, mas podem torná-la insatisfatória como água de amassamento.

Este capítulo que discutir os aspectos principais da influência dos tipos e quantidades de impurezas carregadas pela água na qualidade do concreto e apresentar dados práticos, baseados na experiência nacional e estrangeira, sobre as características básicas da água de amassamento capazes de conduzir aos resultados desejáveis especificamente no caso de pavimentos: concreto de alta qualidade, resistência ao desgaste e de grande resistência mecânica principalemnte à tração na flexão.

B. Impurezas e sua Influência

A respeito da adequação da água à fabricação do concreto algumas especificações requerem apenas que ela seja limpa e livre de substâncias deletérias. Outras especificações estabelecem que , se a água não provém de fonte de qualidade comprovada devem ser feitos ensaios comparativos de resistência à compressão em corpos de prova de argamassa ou de concreto. No entanto, a possibilidade de uma água ser ou não empregada com água de amassamento fica condicionada a duas questões fundamentais:

- a) Como e quais as impurezas que, carregadas pela água, afetam negativamente o concreto?
- b) Qual o teor máximo permissível de impureza?

B. 1 - Substâncias em suspensão

Normalmente, as substâncias que se encontram em suspensão na água são o silte e a argila, caracterizando-se sua existência pela turbidez do líquido. O Bureau of Reclamation estabelece o índice máximo de turbidez em 2.000 partes por milhão, para águas de amassamento. A prática corrente brasileira limita a ocorrência máxima de resíduo sólido em 5.000 mg/l.

Quanto a influência dessas partículas, observa-se que uma pequena quantidade de argila bem dispersa, de dimensões coloidais (iguais ou inferiores a $2 \times 10^{-6} \text{m}$) poderá fechar os poros capilares do cimento endurecido ou os que existem entre o cimento e o agregado, contribuindo para o aumento de compactidade da massa.

Apesar disso, a presença de maior quantidade desse material impede a cristalização perfeita dos produtos de hidratação, interpondo-se entre os cristais de crescimento e em vias de colagem e comprometendo a coesão interna do meio resultante.

Quantidade de substâncias em suspensão superiores à mencionada podem não afetar as resistências mecânicas do concreto, mas sim, outras propriedades da mistura.

B. 2 - Substâncias em solução

As substâncias em solução encontradas nas águas naturais são compostas principalmente de sais cuja influência se manifesta pela ação dos seus íons. Na água natural os íons mais comuns são:

-CÁTIONS	-ÂNIONS
Cálcio (Ca^{++})	Carbonato (CO_3^{--})
Magnésio (Mg^{++})	Bicarbonato (HCO_3^-)
Sódio (Na^+)	Sulfato (SO_4^{--})
Potássio (K^+)	Clorato (Cl^-)
Amônio (NH_4^+)	Nitrato (NO_3^-)

cuja ação pode ser classificada em três tipos:

- íons que alteram as reações de hidratação do cimento;
- íons que podem levar à expansão a longo prazo (como por exemplo, os sulfatos de álcalis).
- íons capazes de provocar a corrosão das armaduras.

No primeiro caso, a pega e o endurecimento podem ser prejudicados pela combinação com o cálcio que elimina ou reduz o teor de hidróxido de cálcio livre alterando a hidratação dos componentes, em especial dos aluminatos.

As águas mais enquadráveis nessa situação são as magnesianas e as que contém matéria orgânica sob a forma de ácidos húmicos.

No segundo caso, dentre os íons capazes de agir prejudicialmente a longo prazo, encontram-se os cátions Na^+ e K^+ , e o ânion SO_4^{--} , podendo atuar diretamente sobre o cimento

(íon SO_4^{--}) ou sobre o agregado (íons SO_4^{--} , Na^+ , K^+), uma vez que o cimento, meio altamente alcalino, favorece as reações expansivas; daí resulta a necessidade de limitar a concentração desses íons.

Normalmente, os álcalis (expressos em Na_2O), se superiores a 0,6% da massa de cimento, são perigosos quando o agregado contém sílica criptocristalina, devendo limitar-se o teor de álcalis da água, nessa proporção. Também o teor permissível de sulfatos (expresso em íons SO_4^{--}) é limitado, tolerando-se uma concorrência máxima de 600mg/l.

Quanto aos íons que agem na corrosão das armaduras os mais importantes são os cloretos, os sulfetos, os nitratos e o amônio, com danos, principalmente quando se trata de concretos protendidos, nos quais, por estar a armadura submetida a tensões muito elevadas, a energia interna é grande, facilitando o desenvolvimento das reações químicas.

No caso do concreto para pavimentos, a única restrição feita é quanto à concentração de cloretos, expressa em íons Cl^- , permitindo-se uma taxa máxima de 1.000mg/l.

Há ainda outros sais comumente encontrados nas águas naturais, como o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o bicarbonato de sódio (NaHCO_3) que, segundo resultados de ensaios, exercem influência que depende do tipo de cimento empregado. Grandes quantidades de carbonato de sódio aceleram a pega, ao passo que o bicarbonato de sódio pode funcionar como acelerador ou retardador de pega, conforme o tipo de cimento; assim, torna-se aconselhável a execução de ensaios para a determinação do tempo de pega e de resistência à compressão aos 28 dias, sempre que a soma das concentrações de carbonato e bicarbonato de sódio ultrapasse a 1.000 p.p.m (partes por milhão).

B. 3 - A influência do pH.

Embora o pH das águas naturais praticamente não tenha influência nas propriedades dos concretos, algumas considerações merecem destaque.

Raramente tais águas apresentam valores de pH inferiores a 4 sendo o ácido contido rapidamente neutralizado pelo contato com o cimento. A acidez das águas naturais é comumente atribuída à concentração de dióxido de carbono (CO_2) em solução, que raramente excede a 10 p.p.m de CO_2 . O ácido clorídrico (HCl) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) são outros indicadores de acidez do meio funcionando como retardadores de pega do cimento, cuidando-se, no entanto, que os teores de íons SO_4^{--} e Cl^- não se elevam acima dos limites permitidos.

A alcalinidade das águas é conferida pelos carbonatos e bicarbonatos alcalinos. Os bicarbonatos, conforme já mencionado, retardam ligeiramente a pega. Em proporções

superiores a 0,2 % (conforme a composição química do cimento) aceleram-se, diminuindo, no entanto as resistências em idades elevadas.

B. 4 - A influência das substâncias orgânicas

Dentre as substâncias orgânicas que, presentes na água, podem alterar as características dos concretos, os óleos minerais, hidratos de carbono e os açúcares merecem especial atenção.

Os óleos minerais, numa concentração de até 2% da massa do cimento, não afetam a resistência mecânica do concreto. O aumento dessa concentração - por exemplo, 10% - provoca reduções que podem exceder cerca de 30%.

A natureza da matéria orgânica determina a influência mais provável:

- se composta de ácidos húmicos ou hidratos de carbono, normalmente retarda a pega, mas não tem qualquer outro efeito prejudicial ao longo prazo, o que não se verifica quando a matéria orgânica provém de certas algas podendo nesse caso ocasionar sensíveis variações, para menos, na resistência à compressão.

Quanto aos açúcares, tidos como agentes retardadores da pega e redutores da resistência do concreto, requerem um estudo mais aprofundado, pois nem sempre ele se comporta de maneira mencionada.

Os estudos de laboratório têm mostrado que pequenas quantidades de açúcar retardam quantidade de açúcar, observa-se um retardo muito grande da pega e uma redução acentuada das resistências nas primeiras idades (entre 2 a 7 dias), sendo que nas idades posteriores as resistências se não melhoram, também não são prejudicadas. Concentrações maiores tornam ultra-rápidas as pegas, reduzindo efetivamente as resistências finais do concreto.

A quantidade de açúcar que causa esses diferentes efeitos depende, entre outros fatores, do tipo de cimento.

Tuthill, Adams & Hemme verificaram que a sacarose, em concentrações entre 0,03% e 0,06% da massa de cimento, provoca atraso na pega do concreto e aumenta as resistências mecânicas nas idades de 2 e 3 dias.

Bloem verificou que as concentrações de 0,1% em relação à massa de cimento retardam consideravelmente a pega, mas aumentam a resistência aos 3 dias de idade da argamassa, e concluiu que parece ocorrer aceleração da pega quando a concentração de açúcar está em torno de 0,15%.

A mesma referência mostra que essa concentração e a de 0,2% reduz a resistência aos 7 dias mas melhora a de 28 dias.

Os trabalhos desenvolvidos por Burchatz & Wrochem, Dautreband, Brocard e Vaicum mostram resultados de ensaios de laboratório que analisam detalhadamente o comportamento dos concretos em função da concentração de açúcar, fornecendo bons subsídios para estudos posteriores.

B. 5 - Substâncias inorgânicas

Dentre as substâncias inorgânicas carregadas pelas águas, algumas merecem especial atenção: os iodatos, os fosfatos, os arseniats e os boratos de sódio, os cloretos e sulfatos de zinco e cobre os óxidos de zinco, os sulfetos de sódio e potássio, que, dependendo da concentração em que se encontram na água de amassamento podem causar sérios distúrbios tanto na pega, como nas resistências do concreto.

Na referência bibliográfica encontram-se vários trabalhos que discordam sobre o assunto, apresentando dados quantitativos e as conclusões dos pesquisadores.

B. 6 - Gases dissolvidos

As quantidades de gases dissolvidos na água de amassamento são em geral, bem pequenas, e de influência quase nula no concreto fresco ou endurecido. A ASTM indica que os gases mais comuns e as suas concentrações mais prováveis nas águas naturais são:

- a) dióxido de carbono livre (CO_2) que raramente excede 10 p.p.m;
- b) oxigênio, cujo teor varia de 2 p.p.m a 8 p.p.m;
- c) ácido sulfídrico (H_2S), com teores de até 15 p.p.m;
- d) amônia, cujo teor pode atingir até 4 p.p.m.

C - Água do Mar

As águas marítimas, que contém por volta de 3,5% de sais dissolvidos, não apresentam inconvenientes quando usadas como água de amassamento dos concretos simples. Os sais dissolvidos são compostos principalmente pelo cloreto de sódio (cerca de 78%) e os cloretos e sulfatos de magnésio (cerca de 15%); os teores de carbonatos são variáveis, mas seguramente baixos (cerca de 75 p.p.m de CO_3).

Quanto às resistências do concreto com água do mar, Narver verificou um decréscimo de apenas 6% na resistência à compressão aos 90 dias, em relação às obtidas com a água doce; Mather constatou decréscimo de 8% a 15%, na mesma idade.

De modo geral, a experiência tem mostrado que, no concreto simples, a água do mar apresenta resultados praticamente iguais àqueles obtidos com água doce padrão, verificando-se, às vezes, ligeira aceleração da pega, aumento das resistências iniciais e leve diminuição das resistências finais, dependendo do tipo de cimento empregado.

No concreto armado, a opinião geral é a favor da não utilização da água do mar, uma vez que, provavelmente, ocorrerá a corrosão do aço.

Alguns autores atentam para o inconveniente das eflorescências, ocorridas nas superfícies dos concretos em função do emprego da água do mar como água de amassamento, e de condições propícias para a sua formação: existência de uma certa umidade no interior do concreto e uma taxa lenta de evaporação.

Coutinho assim resume as recomendações sobre o emprego das águas marítimas no concreto: podem ser utilizadas sem qualquer precaução no concreto simples; só deverão ser usadas no concreto armado quando a relação água/cimento for menor ou igual a 0,7; não deverão e empregadas quando se tratar de concreto protendido.

D - Águas Residuais de Indústrias

Em se tratando de água residual cada caso deve ser tratado separadamente pois é impossível generalizar os tipos de impurezas carregadas, uma vez que são função do próprio processo industrial e do tipo de serventia da água.

Abrams analisou o comportamento de concretos executados com água contendo diversos tipos de resíduos industriais, obtendo bons resultados na maioria dos casos.

O assunto será tratado adiante, quando da apresentação das conclusões de Abrams sobre o comportamento de diversos tipos de águas utilizadas na mistura do concreto.

E - O Efeito das Impurezas na Água de Mistura (segundo Abrams)

Uma grande série de experimentos sobre esse tema foi realizada por Abrams. Aproximadamente 6.000 corpos de prova de argamassa e concreto e 68 tipos diferentes de água foram ensaiados durante a pesquisa. Dentre os tipos de águas testadas - marítimas, alcalinas, minerais, residuais e de pântano - foram incluídos ensaios com água potável de qualidade comprovada, para fins de comparação dos resultados. Determinaram-se os valores

dos tempos de pega do cimento e da resistências à compressão do concreto, nas idades compreendidas entre 3 dias e cerca de dois anos e meio, para cada tipo de água empregada.

Algumas das principais conclusões baseadas nos resultados finais dos ensaios:

a) O tempo de pega do cimento Portland praticamente não sofre grandes alterações, exceto em poucos casos; as amostras com baixos valores de resistência à compressão, na maioria das vezes, tiveram pega bem lenta. Verificou-se, ainda, que o tempo de pega não é indicativo satisfatório da conveniência ou não da água para fins de uso no concreto.

b) A despeito da grande variação quanto ao tipo e à origem das águas, a maioria das amostras proporcionaram concretos de boa qualidade, porque a quantidade de substâncias prejudiciais constatadas foi relativamente pequena.

c) A qualidade de água é melhor avaliada pela comparação das resistências à compressão de corpos de prova feitos com a água suspeita e com a de qualidade comprovada. São consideradas insatisfatórias as que mostrarem uma relação entre as resistências inferiores a 85%.

d) Nem o cheiro nem a cor representam a qualidade da água para fins de uso nos concretos. Observou-se que águas de aparência desagradável originaram concretos de qualidade aceitável. Águas destiladas e potáveis compuseram concretos com praticamente os mesmos valores de resistência.

e) Tomando como base um valor mínimo de 85% para a relação entre as resistências foram consideradas insatisfatórias as seguintes águas:

- águas ácidas;
- águas residuais de curtumes;
- águas minerais carbonatadas;
- águas contendo mais de 3% de cloreto de sódio, ou mais de 3,5% de sulfatos;
- águas contendo açúcares ou compostos similares.

Foram dadas como satisfatórias, para emprego como água de amassamento do concreto:

- águas de pântanos e brejos;
- águas mostrando concentração máxima de 1% do íon SO_4^{--} ;
- águas alcalinas, contendo até 0,15% de sulfato de sódio (Na_2SO_4) e até 0,15% de cloreto de sódio (NaCl);
- águas provenientes de minas de carvão e gesso;

- alguns tipos de águas servidas, como as provenientes de matadouros, cervejarias, fábricas de tintas e sabão.

F - A Prática Corrente para a Verificação da Qualidade da Água Empregada no Amassamento dos Concretos para Pavimentos

É usual dizer-se que toda água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos.

A água utilizada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento.

Deve-se notar que as águas com agentes agressivos, utilizadas para amassar concretos, têm uma ação muito menos intensa do que a mesma água agindo permanentemente sobre o concreto endurecido.

Na realidade, os maiores defeitos provenientes da água de amassamento tem maior relação com o excesso de água empregada do que propriamente com os elementos que ela possa conter.

Antes de ser iniciada uma obra de concreto, ou quando houver dúvidas a respeito da água a ser empregada na mistura do concreto, deve-se proceder à análise química e aos ensaios comparativos de comportamento executados em pastas e argamassas padrão (conforme MB-1).

A NBR- 6118, no item 8.1.3, presume como satisfatórias as águas potáveis e as que tenham pH entre 5,8 e 8,0 e respeitam os seguintes limites máximos:

- matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) → 3 mg/dm³
- resíduos sólidos → 5.000 mg/dm³
- sulfatos (expressos em íons SO₄⁻⁻) → 300 mg/dm³
- cloretos (expressos em íons Cl⁻⁻) → 500 mg/dm³
- açúcar → 5 mg/dm³

Os limites acima incluem as substâncias trazidas ao concreto pelo agregado.

Nos ensaios comparativos de pega e de resistências à compressão, executados de acordo com o método MB - 1, adotando como comparação uma água de boa qualidade, os resultados obtidos com a pasta e argamassa executadas com a água suspeita deverão apresentar:

a) o tempo de início de pega deverá ser igual, no mínimo, ao tempo de início de pega da pasta confeccionada com água de boa qualidade menos 30 minutos;

b) o tempo de fim de pega deverá ser igual, no máximo, ao tempo de fim de pega da pasta confeccionada com água de boa qualidade mais 30 minutos;

c) a redução da resistência da argamassa executada com a água suspeita, em relação à argamassa executada com a água considerada satisfatória, não poderá ser maior que 15%, em qualquer das idades de ensaio.

A diferença na composição química do cimento pode comprometer suas qualidades com certos tipos de águas. Águas que contenham ácidos não podem ser utilizadas com cimentos pobres de cal, porém podem ser utilizadas, sem risco, com cimento Portland comum ou de alto-forno. As águas minerais não podem ser utilizadas para amassamento ou cura do concreto.

As recomendações relativas à água de amassamento nem sempre se aplicam à água destinada à cura do concreto.

A *qualidade da água de cura* deve ser estimada por critérios ainda mais rígidos que os usados para analisar as águas consideradas agressivas ao concreto endurecido.

PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

A. Conceituação

São propriedades do concreto fresco: a consistência, a textura, a trabalhabilidade, a integridade da massa (oposto de segregação), o poder de retenção de água (oposto de exsudação) e a massa específica.

As quatro primeiras citadas são, muitas vezes, englobadas sob o termo trabalhabilidade, medindo-se normalmente essa propriedade pela medida de consistência.

B. Trabalhabilidade

B. 1 - Definição

É a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de homogeneidade.

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade são:

a) *Fatores internos:*

- consistência, que pode ser identificada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;

- traço, definida pela proporção entre cimento e agregado;

- granulometria do concreto, que corresponde à proporção entre agregado graúdo e miúdo;

- forma dos grãos dos agregados, em geral dependendo do modo de obtenção (agregado em estado natural ou obtido por britagem);

- aditivos, com finalidade de influir na trabalhabilidade, normalmente denominados plastificantes.

b) *Fatores externos:*

- tipo de mistura (manual ou mecânica);

- tipo de transporte, quer quanto ao sentido vertical ou horizontal, quer quanto ao meio de transporte (em guinchos, vagonetes, calhas ou bombas);

- tipo de lançamento, de pequena ou grande altura (por pás, calhas, trombas de elefantes, etc);

- tipo de adensamento, que pode ser manual, vibratório, vácuo, centrifugação, etc.

- dimensões e armadura de peça a executar.

B. 2 - Medida da trabalhabilidade

B. 2. 1 - Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio de abatimento mede, em realidade, a consistência, sendo normalmente empregado para garantir a constância da relação água/cimento.

Os concretos bem proporcionados abatem sem separação dos materiais, ao passo que os de má composição estes separam-se completamente.

B. 2. 2 - Ensaio de escorregamento (*Flow test*)

B. 2. 3 - *Mesa de Graff*

C - Exsudação

É a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém-lançado.

Esse fato dá, como conseqüência, que a parte superior do concreto torna-se excessivamente úmida,, tendendo a produzir um concreto poroso e menos resistente, que, além disso, poderá estar sujeito à desintegração pela percolação da água.

A água ao subir à superfície pode carregar partículas mais finas de cimento, formando a chamada nata. Essa nata impede a formação de novas camadas de material e deve ser removida cuidadosamente.

Outro efeito nocivo da exsudação consiste na acumulação de água em filmes sobre as barras metálicas da armadura, diminuindo a aderência. Essa exsudação poderá ser controlada pelo proporcionamento adequado de um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além da necessária.

D - Massa específica

A massa específica do concreto normalmente utilizada é a massa da unidade de volume incluindo os vazios. Essa massa específica varia entre 2.300 kg/m^3 e 2.500 kg/m^3 .

É usual tomar para o concreto simples 2.300 kg/m^3 e 2.500 kg/m^3 para concreto armado.

Com a utilização de agregados leves, é possível reduzir esse valor (da ordem de 1.800 kg/m^3).

Em alguns casos, especialmente para paredes de salas de reatores atômicos, usam-se concretos pesados, em que o agregado graúdo é barita (em torno de 3.700 kg/m^3).

PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

A- Resistência aos Esforços Mecânicos

O concreto é um material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração. Sua resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão.

Nos ensaios de flexão obtém-se valores da resistência à tração (módulo de ruptura) da ordem do dobro das resistências obtidas por tração simples.

A. 1 - Ruptura por compressão

A verificação da resistência à compressão deverá ser feita em corpos de prova cilíndricos 15x30cm.

A idade normal do concreto para os ensaios de ruptura por compressão é de 28 dias.

Se $j < 28$ dias, a resistência correspondente poderá ser obtida pelo quadro abaixo recomendado pelo CEB/72 onde fornecem os valores de f_{cj}/f_{c28} .

IDADE J DO CONCRETO	3	7	28	90	360
Cimento Portland Comum	0,40	0,65	1,00	1,25	1,35
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

A. 2 - Ruptura por tração

Para a resistência do concreto à tração, na falta de determinação experimental, poderá ser adotado o seguinte valor da resistência característica estimada:

$$f_{tk} = \frac{f_{ck}}{10} \quad \text{para } f_{ck} < \text{ ou } = 18 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7 \text{ MPa} \quad \text{para } f_{ck} > 18 \text{ MPa}$$

A. 3 - Fatores que influem na resistência do concreto

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são:

- Relação água/cimento;
- Idade;
- Forma e granulometria dos agregados;
- Tipo de cimento;
- Formato e dimensão dos corpos de prova;

- Velocidade de aplicação da carga de ensaio;
- Duração da carga;
- Retração.

B - Permeabilidade e Absorção

O concreto é um material que, por sua própria constituição é necessariamente poroso, pois não é possível preencher a totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento.

As razões são várias:

- É sempre necessário utilizar uma quantidade de água superior à que se precisa para hidratar o aglomerante, e essa água, ao evaporar, deixa vazios;

- Com a combinação química, diminuem os volumes absolutos de cimento e água que entram na reação;

- Inevitavelmente, durante a mistura do concreto, incorporar-se à massa.

A interconexão desses vazios de água ou ar torna o concreto permeável à água.

A permeabilidade torna-se a principal propriedade para os concretos que, expostos ao ar, sofrem os ataques de águas agressivas ou a ação destruidora dos agentes atmosféricos.

A absorção é o processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares.

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através do material.

Enquanto a porosidade se refere à totalidade dos vazios e a absorção é função dos poros que têm comunicação com o exterior, a permeabilidade tem relação com a continuidade destes canais.

Os fatores que afetam a porosidade, a absorção e a permeabilidade acham-se agrupados abaixo:

a) Materiais constituintes

Água - quantidade e pureza

Cimento - composição e finura

Agregados - grão e miúdo em termos de quantidade, tipo, dimensão máxima granulometria e impurezas.

Aditivos - quimicamente ativos ou inertes.

b) Métodos de preparação

Mistura

Lançamento

Adensamento

Acabamento.

c) Condições posteriores

Idade

Cura

Condições dos ensaios.

C - Deformações

O concreto apresenta-se como um esqueleto sólido contendo no seu interior, poros capilares tomados em parte por água e em parte por ar.

Quando os poros estão totalmente secos ou totalmente saturados, o concreto se comporta como um sólido qualquer. No entanto, quando os poros estão parcialmente cheios d'água em virtude das dimensões muito pequenas dos poros, aparecem tensões capilares, que atribuem ao concreto propriedades de deformações diferentes daquelas dos corpos sólidos.

Considera-se, assim, o concreto um pseudo-sólido.

As deformações do concreto podem ser agrupadas em duas classes:

a) Deformações próprias ou intrínsecas

- retração;
- deformação devido à variação da umidade ambiente;
- deformação devido à variação da temperatura ambiente.

b) Deformações produzidas por cargas externas

- deformação imediata;
- deformação lenta ou fluência.

C. 1 - Retração

É o fenômeno segundo o qual, após a pega, o concreto em contato com o meio ambiente, sofre uma redução de suas dimensões em todas as direções, sem a aplicação de cargas externas, produzidas pelas forças capilares.

Esta deformação é tanto maior ou quanto mais novo é o concreto. À medida que o concreto envelhece, vai se tornando mais resistente, e portanto, sofrerá menores deformações.

O valor alcançado pela retração dependerá dos seguintes fatores:

- condições de umidade do meio ambiente;

- dimensões e distribuição dos poros capilares que em termos de tecnologia do concreto dizem respeito a compacidade da mistura, tipo de cimento, fator água/cimento e granulometria dos agregados;

- dimensões da peça; (peças delgadas facilitam a percolação da água à superfície da massa e devem, portanto, manifestar mais acentuadamente o efeito da retração);

- porcentagem da armadura longitudinal na peça (um aumento de armadura ocasiona uma diminuição na retração).

C. 2 - Deformação devido à variação da umidade ambiente

Que se traduzem, em geral, por um inchamento quando aumenta a umidade e por um encolhimento quando ela diminui.

Para as variações usuais de umidade, que se dão após a retração as deformações correspondentes são geralmente, desprezíveis.

C. 3 - Deformação devido á variação da temperatura ambiente

A variação da temperatura do meio ambiente não se transmite de forma integral nem instantânea a toda a massa do concreto mas apenas provoca uma variação de temperatura de menor amplitude e cuja manifestação é feita com retardo.

C. 4 - Deformação imediata

É aquela que ocorre imediatamente após a aplicação das cargas externas.

C. 5 - Deformação lenta ou fluência

É o acréscimo de deformação de uma peça, ao longo do tempo sob a ação de um carregamento externo permanente.

Da mesma forma que a retração, a deformação lenta é mais rápida no início, diminuindo depois com o tempo e quase a totalidade de seu valor é atingida após dois ou três anos.

D - Módulo da Elasticidade

Se aplicarmos uma carga de compressão axial em corpos de prova padrões (cilindrico 15x30 cm) e aumentá-la gradativamente desde zero até a ruptura, teremos uma curva de tensão-deformação.

A deformação ϵ_R de ruptura do concreto é aproximadamente 3,5%, independentemente do tipo de concreto.

O módulo de elasticidade é dado pela relação tensão/deformação. Assim sendo, será um valor bastante variável, dependendo da sua dosagem, da sua densidade, da sua idade e do valor da tensão. Não é, pois, um número único, característico do concreto.

A NBR 6118 no item 8.2.4 propõe um diagrama tensão-deformação simplificado, composto de uma parábola do 2º grau que passa pela origem e tem seu vértice no ponto de abcissa 2 e ordenada 0,85 f_{cd} e de uma reta entre as deformações 2% e 3,5% tangente à parábola e paralela ao eixo das abcissas.

Na falta da determinação experimental, o módulo de deformação longitudinal à compressão, no início da curva tensão-deformação efetiva, correspondente ao primeiro carregamento, será suposto igual a :

$$E = 6.600 (f_{cj})^{1/2}$$

No projeto tomar-se-á para o cálculo do módulo de deformação: $f_{cj} = f_{ck} + 3,5 \text{ MPa}$

PREPARO DO CONCRETO - MANIPULAÇÃO DOS MATERIAIS

A - Introdução

O preparo do concreto consiste em uma série de operações ou serviços executados e controlados de forma a obter, a partir dos materiais componentes, um concreto endurecido com as propriedades especificadas, de acordo com as exigências do projeto.

As propriedades do concreto endurecido dependem fundamentalmente das propriedades dos materiais, das proporções da mistura, as quais, por sua vez determinam também as propriedades do concreto fresco.

As propriedades do concreto fresco devem ser compatíveis com o método de preparo do concreto.

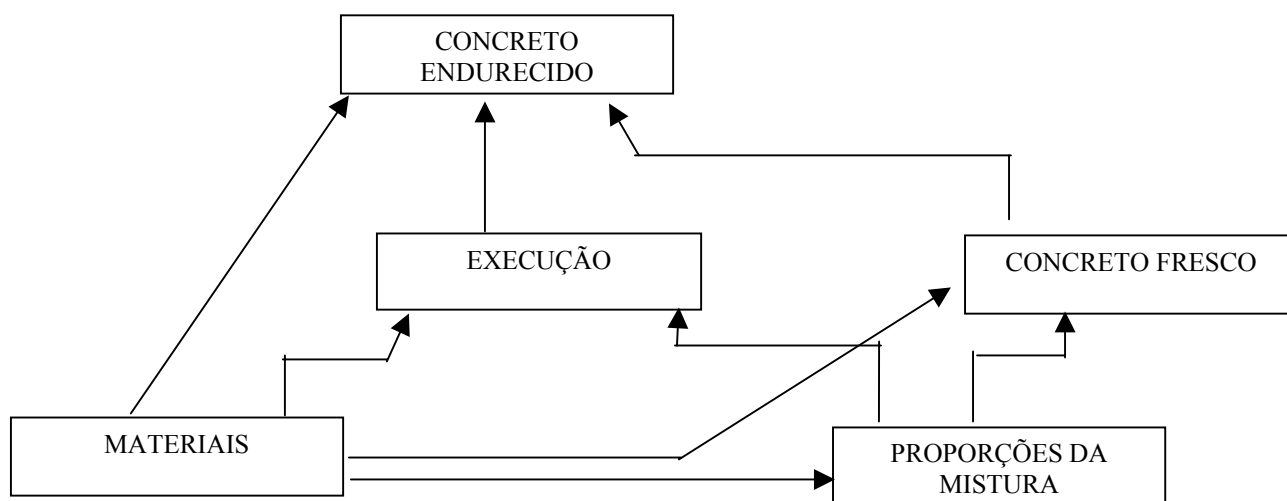
Há, portanto, uma relação bem definida entre as propriedades do concreto endurecido, as propriedades do concreto fresco, as propriedades dos materiais e o procedimento de preparo.

As operações necessárias à obtenção de um concreto podem ser definidas como sendo:

- a) dosagem, ou quantificação dos materiais;
- b) mistura dos materiais, de forma a obter homogeneidade e uniformidade;
- c) transporte para a obra, operação somente efetuada quando o concreto é dosado em central;
- d) transporte dentro da obra, que consiste em transportar o concreto de betoneira ou do ponto de descarga até o local de aplicação;
- e) lançamento, ou seja, colocação do concreto no local onde vai ser aplicado;
- f) adensamento, que consiste em tornar a massa do concreto a mais densa possível, eliminando os vazios;
- g) cura, ou cuidados a serem tomados para evitar a perda de água pelo concreto nos primeiros dias de idade.

De todas essas operações depende a obtenção de um bom concreto. Em outras palavras, uma dessas operações mal executada pode ser causa suficiente para a ocorrência de problemas no concreto. Não há também, nenhuma possibilidade de compensar as deficiências de uma das operações com cuidados especiais em outra.

Como exemplo, o uso de excesso de cimento para compensar a deficiência da mistura, pode resultar em concentrações inconvenientes de cimento em alguns locais, mas a mistura será sempre heterogênea.



Para assegurar o correto desenvolvimento dessas operações se fazem necessárias as operações de controle.

Deve-se, também, tomar uma série de cuidados preliminares, cuja abordagem não se enquadra bem nesta apresentação, mas cuja menção julgamos oportuna porque, às vezes, podem comprometer o sucesso de uma concretagem.

É o caso das verificações das formas, quanto à capacidade de suportar os esforços decorrentes do lançamento e manuseio do concreto.

A estanqueidade das fôrmas é um ponto a ser cuidadosamente verificado; no caso de materias absorventes, quando devem ser tomados os cuidados necessários de molhagem prévia, a fim de evitar a absorção excessiva da água do concreto.

As dimensões também devem ser verificadas, para que sejam evitadas deficiências que possam comprometer a resistência de peças estruturais, ou excessos que resultariam em desperdícios.

No caso de aplicação de concreto sobre o solo, deve-se usar um lençol de material impermeável ou, pelo menos, umidecer o solo para evitar absorção.

Deve-se evitar que o empenamento devido à umidade das madeiras utilizadas nas fôrmas possa provocar uma abertura, principalmente em cantos externos de peças, o que poderia resultar em lasqueamento nesses pontos.

Enfim, ao se iniciar o lançamento do concreto, todas essas providências deverão ter sido tomadas, a fim de se evitar retardamento das operações que, também, são fatores de possível comprometimento das propriedades do concreto endurecido.

B - Manuseio e Estocagem dos Materiais

B. 1 - Cimento

O cimento em sacos deve ser guardado em lugar abrigado de chuva e umidade excessivas. As pilhas não devem ter mais do que 10 sacos, em altura.

Recomenda-se a utilização de barracões, bem cobertos e protegidos, dotados de estrados de madeira ou material equivalente, que evite o contato direto dos sacos de cimento com o solo.

Em casos de emergência, pode-se recorrer ao expediente de empilhar o cimento sobre estrados de madeira e cobri-los com lonas plásticas.

O período médio de estocagem de cimento em sacos é da ordem de 30 dias, podendo ser aumentado para cerca de 60 dias em locais de clima seco, mas devendo ser bastante reduzido em climas úmidos.

No caso de se ultrapassarem esses períodos é conveniente ensaiar o cimento ou, se as quantidades envolvidas forem pequenas, procurar usá-lo em locais ou serviços de menor responsabilidade.

O cimento em contenedores (containers), pode ser mantido por tempos talvez um pouco superiores, desde que esses recipientes sejam bem fechados.

Em silos o período de estocagem pode ser consideravelmente aumentado, tendo-se notícia de casos em que o cimento permaneceu inalterado por mais de um ano, em silo completamente cheio e herméticamente fechado.

Em um silo parcialmente cheio, admite-se que o cimento possa ser estocado de três a quatro meses sem se alterar.

Em qualquer caso, é recomendável que se façam algumas experiências, a fim de se obter dados seguros, quanto ao período máximo admissível de estocagem desse material.

O ensaio de perda ao fogo pode dar uma boa idéia da possível deterioração do cimento (início da hidratação).

B. 2 - Agregados

O princípio geral a ser adotado no manuseio e estocagem destes materiais é de se evitar a segregação durante o lançamento nas pilhas.

Por maior que seja esse cuidado, sempre ocorre uma certa segregação. de forma que as parcelas mais grossas tendem a se localizar nas bases das pilhas e , sendo assim, um cuidado complementar consiste em procurar apanhar o material desde a base até às partes mais altas das pilhas.

Dessa forma, o material utilizado deverá ser o mais homogêneo possível, reproduzindo a mesma granulometria utilizada em laboratório.

As pilhas do diferentes materiais deverão ser bem separadas, para evitar misturas que interferirão nas proporções da mistura final.

Deve-se evitar que o material venha acompanhado de solo ou outras impurezas.

No caso da areia, deve-se evitar que enxurradas carreguem as parcelas finas.

Deve-se, também, evitar que haja separação pelo vento.

Deve-se prever sempre um local para descarga de material de qualidade duvidosa ou, pelo menos, aparentemente diferente do que está sendo utilizado.

É obvio que deverão ser recusados os materiais que apresentam evidências de afastamento das normas, como por exemplo, no caso da areia, excesso de torrões de argila.

B. 3 - Água

Os problemas que podem ocorrer com a água são somente os decorrentes do contaminação de reservatórios por materiais incompatíveis com o cimento ou armadura, como açúcar, cloretos, ácido húmico, etc.

Se houver possibilidade ou suspeita de contaminação, recomenda-se uma verificação periódica, se for o caso, através de ensaios comparativos.

B. 4 - Aditivos

O cuidado geral com relação aos aditivos, além das recomendações dos fabricantes, consiste em fazer com que eles sejam facilmente identificáveis, a fim de se evitar confusões, às vezes até perigosas.

ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO

A - Introdução

Tratando-se do preparo e execução do concreto, é oportuno abordar a questão da especificação do concreto. Especificar significa exatamente designar as qualidades que se requer para qualquer material ou produto.

No caso do concreto, de acordo com o projeto, são requeridas determinadas propriedades que devem ser transmitidas ao executante da obra - mais especificamente ao responsável pelo concreto - sendo essas propriedades indicadas sob a forma de uma especificação. A forma de especificar o concreto implica em responsabilidade de quem especifica e de quem executa o concreto.

B - Tipos de Especificação

O concreto pode ser especificado usualmente de duas maneiras, segundo os objetivos que se pretende:

- a) Resistência;
- b) Consumo de cimento ou traço.

Além dessas especificações, que são as mais gerais, pode-se fazer, também, as denominadas especificações complementares.

B. 1 - Especificação pela resistência

É o caso mais comum em que se usa a propriedade do concreto, cuja função é a mais importante. As normas, em geral, e em particular as brasileiras, estabelecem que se especifique a resistência característica.

Além da resistência, é necessário, para definir o concreto, que se especifique o tamanho máximo do agregado e o abatimento. Resumindo, nestes casos, deve-se especificar:

- a) resistência característica;
- b) tamanho máximo do agregado;
- c) abatimento do concreto.

O responsável pelo concreto, somente responde por essas três propriedades ou parâmetros do concreto, não cabendo nenhuma reclamação no que se refere à quantidade ou tipo de cimento, traço, etc.

Naturalmente, subentende-se que outras propriedades do concreto, tais como coesão da mistura, proporção adequada dos componentes, etc, são de responsabilidade de quem prepara o concreto.

B. 2 - Especificação pelo Consumo ou Traço

B. 2. 1 - Consumo

Neste caso, deve-se especificar:

- a) consumo de cimento (kg/m^3);
- b) tamanho máximo do agregado;
- c) abatimento.

A responsabilidade de quem prepara o concreto se limita, no geral, ao que foi solicitado, feitas as mesmas ressalvas quanto às qualidades normais do concreto.

Há alguns casos em que o concreto deve ser bombeado e a quantidade de cimento pode ser inadequada e, nesse caso, ainda a responsabilidade cabe a quem especifica o concreto.

A resistência, neste caso, também é de responsabilidade de quem especifica.

B. 2. 2 - Traço

Neste caso o pedido contém as quantidades de cada um dos componentes do concreto, inclusive água e aditivos e, evidentemente, que prepara o concreto só responde pelas proporções da mistura e pelas propriedades inerentes, ou seja, homogeneidade e integridade.

As demais propriedades do concreto fresco (abatimento) e endurecido (resistência, textura, etc) são de inteira responsabilidade de quem especifica.

B. 3 - Especificações complementares

Em qualquer dos casos anteriores, particularmente quando se especifica resistência, pode-se fazer especificações complementares, tendo em vista certas propriedades especiais que se requer para o concreto. Estas propriedades são citadas abaixo.

B. 3. 1 - Relação água/cimento

Quando o concreto deverá ficar exposto a meios agressivos, pode-se especificar um valor máximo para a relação água/cimento. Às vezes, a adoção desse máximo implica em

resistência maior do que a necessária, prevalecendo então como valor a ser adotado o que foi exigido pela durabilidade. A especificação de resistência é então atendida, pois se obtém um valor maior do que o pretendido.

B. 3. 2 - Massa específica

Pode-se necessitar concretos leves (para isolamento térmica, enchimento de pequeno peso, etc) ou pesados (para lastro pesado, retenção de raios X, ou outros), nesse caso, pode-se então especificar a massa específica desejada. Obtém-se esses concretos com o uso de agregados leves ou pesados.

No primeiro caso, temos a argila expandida, as vermiculitas, o poliestireno expandido, etc., e no segundo, temos a barita, óxidos de ferro, granalha de ferro, etc.

Os concretos leves podem Ter massas específicas desde 700kg/m^3 ou 800 kg/m^3 e os pesados podem chegar até quase 4.000kg/m^3 .

A resistência dos concretos leves, em geral, diminui com a massa específica, mas com argila expandida pode-se obter concretos estruturais com massas específicas entre 1.600 kg/m^3 a 1.800kg/m^3 e resistência compatíveis com funções estruturais.

B. 3. 3 - Cor

Para se obter efeitos especiais, pode-se adicionar pigmentos ao concreto que lhe dão uma coloração desejada. Alguns dos pigmentos usados:

COR	PIGMENTO
Vermelha	Óxido de Ferro
Amarela	Óxido de Ferro
Marrom	Óxido de Ferro
Preta	Óxido de Ferro
Preta	Óxido de Manganês
Preta	Negro de Fumo
Azul	Óxido de Cobalto
Verde	Óxido de Cromo

Esses pigmentos são usados em quantidades variáveis, da ordem de 1% a 3%, de acordo com a intensidade e tom desejados. O efeito sobre a resistência do concreto é desprezível.

Geralmente, deve-se fazer experiências prévias pois, às vezes, um mesmo pigmento pode dar colorações diferentes com cimentos diferentes e, em alguns casos, é difícil de se conseguir certas cores, como por exemplo, a azul e a verde.

B. 3. 4 - Consumo de cimento

Às vezes, devido a problemas de exposição a meios agressivos, é necessário fixar um consumo mínimo de cimento.

Como no caso da relação água/cimento, pode ocorrer que o mínimo especificado para esse consumo resulte em resistência maior do que a pretendida, mas prevalece este critério para a fixação do traço.

B. 3. 5 - Tipo de cimento

Por razões tais como exposição a meio agressivo, necessidade de pequeno desprendimento de calor (peças muito robustas), agregados potencialmente reativos, etc., se exija cimentos especiais, como de alto forno, pozolânico, alta ou moderada resistências aos sulfatos, teor limitado de álcalis, etc.

B. 3. 6 - Textura

Em certos casos, para a obtenção de efeitos especiais, como é o caso do concreto aparente, pode-se necessitar de um concreto com mais argamassa, com agregados especiais (concreto com agregado aparente), ou mesmo nos casos de concreto para bombeamento, pode-se especificar os requisitos pretendidos.

B. 3. 7 - Aditivos

Pode ser especificado um aditivo ou pela designação comercial ou pela função que se deseja, por exemplo, retardador de pega, incorporação de ar, impermeabilização, expansão, etc. Quando é indicado o aditivo e o teor, a responsabilidade é de quem especifica e quando indicada a função, a responsabilidade é de quem prepara o concreto.

B. 3. 8 - Outras especificações

Várias outras especificações podem ser objeto de especificações complementares, por exemplo, permeabilidade, retração, fluência, teor de argamassa.

C - Aceitação do Concreto

Todo o preparo do concreto, conforme acima exposto, visa o atendimento de especificações que constam do pedido. A aceitação desse pedido implica sempre em compromisso de atendimento a todas as especificações explícitas e, também, às implícitas, como a homogeneidade e a integridade da mistura, bem como, a qualidade dos materiais agregados. O concreto, então, poderá ser recusado se não atender a uma das condições já mencionadas:

a) *condições implícitas* - qualidade dos materiais, homogeneidade e integridade da mistura;

b) *condições explícitas* - as que forem especificadas, conforme descrito nas seções B. 1, B. 2 e B. 3.

PREPARO DO CONCRETO

Dosagem

A - Introdução

A dosagem consiste, neste caso, em determinar as quantidades de material dentro da proporções estabelecidas no laboratório. A dosagem pode ser feita por dois princípios gerais: *volumétrico e gravimétrico*.

B - Designação do Traço

Para se proceder à dosagem é necessário exprimir o traço ou composição do concreto, o que pode ser feito de diversas maneiras, tendo em vista o método a ser usado para determinar as quantidades.

Em geral, o laboratório determina o traço em massa, referido à unidade de massa de cimento.

Quando o concreto é dosado volumetricamente, nas obras, por meio de caixotes, geralmente o traço se refere a um saco de cimento, cujo volume aparente é de 35 litros.

Uma terceira maneira de designar o traço de um concreto é pela massa de cada componente por metro cúbico de concreto.

Este método é usado quando os traços são determinados gravimetricamente, isto é, pelo peso ou massa dos componentes.

C - Determinação das Quantidades dos Componentes

C. 1 - Dosagem volumétrica manual

Neste caso, conforme mencionado anteriormente, usa-se para os agregados volumes que são múltiplos de 35 litros (volume de um saco de cimento solto).

Seriam necessárias duas medidas de caixas diferentes para a areia e para a pedra.

Alterações na massa unitária dos agregados ou mesmo na umidade da areia vão exigir jogos de caixas diferentes. Traços diferentes, também, vão exigir outros jogos de caixas.

O trabalho com essa multiplicidade de medidas só é possível quando a obra dispõe de engenheiro e de um pequeno laboratório, e mesmo assim se torna muito problemático.

Para simplificar o problema, na prática, adotam-se traços com resistências maiores mas cujos volumes relativos são múltiplos simples, como por exemplo, 1:2:3 em lugar de 1:2, 15:3:6. Dessa forma, desperdiça-se cimento mas em pequenos serviços esse fato não é importante.

Outro ponto a ser considerado na dosagem manual, por meio de caixas, são as variações introduzidas devido às diferenças no enchimento (volume faltante ou em excesso) ou na compactação, que pode dar diferenças de até 1kg a 1,5kg de material para mais ou para menos, ou seja, variações de 2kg a 3kg em cada 35 litros.

Essas variações são compensadas pelo fato de que a resistência média adotada é geralmente maior (devido ao arredondamento dos traços), mas no caso de se introduzirem erros sistemáticos para menos, o que geralmente ocorre nos casos de concretagens em ritmo acelerado, o resultado é uma redução no volume do concreto que tem, também, como consequência um acréscimo desnecessário de consumo de cimento.

Essas diferenças decorrem do enchimento e rasamento mal feitos das caixas e podem chegar próximo de 6% a 9% do peso do material, o que representa até 6% do volume do concreto.

Recomenda-se, portanto, muito cuidado no enchimento das caixas e, se possível, uma verificação periódica das massas unitárias, principalmente, em se tratando de obras grandes e de responsabilidade.

C.2 - Dosagem volumétrica contínua

Existem dosadores volumétricos contínuos cujo princípio de funcionamento é uma comporta regulável, que descarrega sobre uma esteira os agregados e o cimento a uma vazão constante.

A vazão é determinada pelas dimensões da comporta e pela velocidade da esteira. A água é dosada por um dispositivo de vazão controlada.

A massa unitária dos componentes do concreto, nas condições de trabalho do equipamento, tem influência no fluxo de material por unidade tempo. Uma aferição periódica permitirá uma regularidade satisfatória nas proporções da mistura.

As aferições devem ser feitas, obrigatoriamente, quando houver qualquer alteração nas propriedades dos materiais, como por exemplo, mudança de procedência, alteração da umidade da areia, etc.

C. 3 - Dosagem em massa

Neste caso os componentes são dosados em massa, por meio de balanças. Este método é o mais seguro de todos, pois permite determinações suficientemente precisas das quantidades de cada componente.

Além disso, as correções a serem feitas, devidas às variações da umidade da areia, tornam-se muito simples, pois deve-se somente multiplicar a massa da areia por um fator igual a $(1+h)$ onde h é a umidade. A quantidade de água deverá ser diminuída da massa de areia multiplicada por h , pois este produto é igual a quantidade de água carregada pela areia.

Os equipamentos mais difundidos, que operam por este princípio, consistem de balanças de agregados, algumas acumulando as massas dos agregados colocados em uma certa seqüência e outras dispendo de uma balança para cada agregado.

Os agregados são colocados na balança por descarga de silos, por meio de comportas operadas geralmente hidráulicas ou pneumáticamente. Em instalações provisórias ou temporárias os agregados podem ser colocados na balança por meio de carregadeiras.

O cimento, às vezes, é dosado em sacos, principalmente em estágios iniciais de funcionamento de centrais ou em instalações provisórias ou temporárias, mas em geral, estocado a granel em silos e pesados em balança separada.

A utilização de cimento em sacos limita a pesagem a frações mínimas de 25kg (meio saco), o que às vezes leva a um pequeno desperdício, pois as aproximações são, em geral, feitas para valores maiores.

C. 4 - Dosagem contínua em massa

Este sistema obedece a um princípio semelhante ao da dosagem contínua em volume, com a diferença de que se tem instantaneamente a massa do material (cimento ou agregados) que se encontra em um trecho da esteira.

Isso é conseguido pelo fato de uma ou dois roletes de apoio da esteira serem flutuantes e suportados por um braço de uma balança.

O controle da vazão (em massa) é feito automaticamente por um dispositivo que faz variar a abertura da comporta, de forma a compensar as variações detectada pela balança.

D - Efeitos das Variações de Dosagem Sobre J Concreto

As variações normalmente observadas nas quantidades de agregados, em geral, têm pouca influência sobre as propriedades do concreto.

Somente grandes variações (superiores a mais ou menos 5%) das quantidades da areia é que poderiam resultar em alterações perceptíveis nas propriedades do concreto fresco, que sendo corrigidas (mediante alterações da quantidade de água) resultam em alterações de propriedades do concreto endurecido.

Os materiais cuja alterações de quantidade têm mais influência nas propriedades do concreto são a água e o cimento.

As alterações da quantidade água podem alterar o abatimento do concreto e a resistência (alteração da relação água/cimento). Alterações da quantidade de cimento, em geral, só alteram a resistência (alteração da relação água/cimento).

Variações de 1% nas quantidades de água e cimento, resultam, em geral, em variações de mais ou menos 0,5 MPa (5kgf/cm²).

E - Tolerâncias na Dosagem

As normas, em geral, admite tolerâncias nas quantidades de materiais de até 3% da massa nominal.

Essa tolerância, interpretada como sendo o intervalo máximo de variação das quantidades, vai se traduzir em uma certa variabilidade das propriedades do concreto e, segundo o que foi visto acima, em particular, da resistência do concreto.

Admitindo-se que a tolerância estabeleça um intervalo dentro do qual devam se situar 90% abaixo do limite inferior, esse intervalo é 1,65 vezes maior que o desvio padrão da variabilidade da quantidade.

A maioria da normas admite tolerâncias em torno de 3% do valor nominal.

A Norma Brasileira de Concreto dosado em central estabelece o limite de 3% para a água, considerando-se água de amassamento, a carregada pela areia, a usada para aditivos e a resultante da fusão de gelo, quando for o caso. Para agregados a tolerância é de mais ou menos 3% do peso nominal ou mais ou menos 1% da capacidade da balança; adotando-se o menor dos dois valores. A balança deve apresentar desvios de leitura não superiores a mais ou menos 2% em relação à determinação real.

No caso do cimento a tolerância é mais ou menos 1% da capacidade máxima da balança, mas para valores nominais inferiores a 1/3 dessa capacidade a tolerância é de -0% a +4% do valor nominal.

DOSAGEM DO CONCRETO

Fixação de Elementos para Dosagem

A - Dimensão Máxima Característica dos Agregados (D_{máx})

A.1 - Definição (NBR 7211)

Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura de malha quadrada, em mm, da peneira à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Considera-se para esta definição a utilização de peneira das séries normal e intermediária.

A.2 - Série de peneiras

São normalizadas (NBR 5734) duas séries de peneiras para agregados, a saber:

SÉRIE	ABERTURA DA MALHA QUADRADA (em mm)
Nomal	0,15/ 0,30/ 0,60/ 1,20/ 2,40/ 4,80/ 9,50/ 19,0/ 38,0/ 76,0
Intermediária	6,30/ 12,5/ 25,0/ 32,0/ 50,0/ 64,0

A.3 - Agregado disponível para utilização em dosagem

Determinada em função da análise granulométrica dos agregados disponíveis para a dosagem.

A.4 - Agregado utilizável para dosagem

A dimensão máxima do agregado a ser utilizado na dosagem não deve ser maior do que:

- 1/4 a menor dimensão da peça a ser executada;
- 1/3 da espessura das lajes;
- 5/6 do espaçamento horizontal da armadura;
- 1/2 do espaçamento vertical da armadura.

Ainda deve atender:

- 1/2 do diâmetro da tubulação para concreto bombeável com seixos rolados;
- 1/3 do diâmetro da tubulação para concreto bombeável com agregado britado.

Adota-se o $D_{m\acute{a}x}$ utilizável, mesmo que se tenha que abandonar algum agregado disponível, ou seja, aquele cuja $D_{m\acute{a}x}$ seja maior que a $D_{m\acute{a}x}$ utilizável.

B - Módulo de Finura dos Agregados (M. F.)

B. 1 - Definição (NBR 7211)

Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de uma agregado, nas peneiras da série normal, divididas por 100.

B. 2 - Classificação das areias

As areias podem ser classificadas de acordo com o seu módulo de finura das seguintes categorias:

- Muito grossa (Pedrisco) $MF > 3,90$
- Grossa $3,90 > MF > 3,30$
- Média $3,30 > MF > 2,40$
- Fina $2,40 > MF$

C - Relação Água/Cimento (A/C)

C. 1 - Definição

É a relação entre a massa de água e a massa de cimento utilizadas na dosagem.

É o principal fator que influencia o valor alcançado pela resistência dos concretos.

Deve ser definido para garantir a obtenção da resistência desejada para o concreto, e também para assegurar durabilidade aos concretos expostos à meio ambiente agressivo.

C. 2 - Em função da resistência

C. 2. 1 - Resistência de dosagem (f_{cj})

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times s_d \quad \text{com: } s_d = k_n \cdot s_n$$

- Valores de k_n em função do número (n) de ensaios.

n	20	25	30	50	200
k_n	1,35	1,30	1,25	1,20	1,10

Se não for conhecido o desvio padrão s_n , o construtor indicará, para efeito da dosagem inicial, o modo como pretende conduzir a construção, de acordo com o qual será fixado o desvio padrão s_d pelo critério a seguir:

a) Quando houver assistência de profissional legalmente habilitado, especializado em tecnologia do concreto, todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregados miúdo e de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados:

$$s_d = 4,0 \text{ MPa}$$

b) Quando houver assistência de profissional legalmente habilitado, especializado em tecnologia do concreto, o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados:

$$s_d = 5,5 \text{ MPa}$$

c) Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada:

$$s_d = 7,0 \text{ MPa}$$

C. 3 - Em função da durabilidade

Atualmente adotamos as recomendações do Comitê do ACI 205.

RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO MÁXIMAS PERMISSÍVEIS PARA CONCRETOS SUBMETIDOS À CONDIÇÕES SEVERAS		
Condições de Exposição / Tipo de Estrutura	Estrutura continuamente ou frequentemente úmida e sujeita a congelamento e degelo	Estrutura exposta à ação da água do mar ou de sulfatos
Peças delgadas (parapeitos, guias, soleiras, abas, concreto ornamental) e secções de 25 mm recobrimento da armadura	0,45	0,40
Outras estruturas	0,50	0,45

Adota-se para a dosagem, o menor fator água/cimento entre os encontrados em função da resistência e da durabilidade.

D - Relação Água/ Mistura Seca (A%)

$$A\% = \frac{P_{\text{água}}}{P_{\text{cim}} + P_{\text{agreg}}}$$

A definição da relação água/mistura seca, tem por finalidade e escolha da consistência, tendo em vista o processo de adensamento e as peças a serem executadas, baseadas no fato de que, com a mesma relação água/cimento, muitos concretos, de diferentes proporções cimento/agregado, terão mesma resistências à compressão, mas só deles apresentará a consistência necessária e suficiente para o fim em vista.

Em primeira aproximação poderão ser adotados os valores de A% da tabela abaixo, que se mostram satisfatórios para os materiais usuais (areia quartzosa e brita de gnaiss).

Valores de A% - Fator Água/Mistura Seca			
Dimensão Máxima do Agregado	Tipo de adensamento		
	Manual (I)	Vibratório Moderado (II)	Vibratório Energético (III)
9,5	11,0	10,0	9,0
19,0	10,0	9,0	8,0
25,0	9,5	8,5	7,5
38,0	9,0	8,0	7,0
50,0	8,5	7,5	6,5

E - Relação Cimento: Agregado (1 : m)

$$m = \frac{100 (A/C)}{A\%} - 1$$

F - Relação Areia/ Agregado (a/m)

Deve estar compreendida entre 30% e 35%. Valor ideal = 32%.

G - Correção do Traço Quanto a Granulometria (se necessário)

G. 1 - Novo valor de "a" para relação a/m ideal

$$a' = 0,32 \times m$$

G. 2 - Novo valor de "B" correspondente ao novo valor a'

Com o novo "a" determina-se o novo valor de agregados graúdos, já que o valor de "m" deve permanecer constante, e distribui-se este valor proporcionalmente entre as britas.

H - Correção do Traço Quanto a Consistência

1 - Pela análise visual ou pela determinação do abatimento do tronco de cone (Slump-test) de uma mistura teste, adiciona-se e quantifica-se a quantidade de água necessária, para a adequada trabalhabilidade da mistura.

2 - Com a quantidade de água adicionada, determina-se o real valor do fator água/mistura seca.

$$A\% \text{ real} = \frac{P_{\text{água}}}{P_{\text{cim}} + P_{\text{areia}} + P_{b1} + P_{b2}}$$

3 - Como não se pode alterar o valor já definido do fator a/c, determina-se um novo valor para "m".

$$m' = \frac{100 (a/c)}{A\% \text{ real}} - 1$$

4 - Com o novo valor de m' determina-se um novo valor para "a", considerando-se o fator água/mistura seca ideal.

$$a'' = 0,32 \times m'$$

5 - Com os novos valores de a'' e m', determina-se a nova distribuidora das proporções dos agregados graúdos.

I - Consumo de Cimento (C)

$$C = \frac{1.000}{\frac{1}{m_c} + \frac{a}{m_a} + \frac{b_1}{m_{b1}} + \frac{b_2}{m_{b2}} + \frac{A}{C}}$$

sendo : a, b₁, b₂ = kg de agregado por kg de cimento

m_c = Massa específica do cimento (kg/l)

m_a = Massa específica da areia (kg/l)

m_{b1} = Massa específica da brita 1 (kg/l)

m_{b2} = Massa específica da brita 2 (kg/l)

A/C = Fator Água/Cimento.

J - Quantidade de Agregado em Volume por m³ de Concreto

J. 1 - Areia

$$\text{Volume da areia seca (V. A . S)} = \frac{\text{Massa da areia seca}}{\text{Massa unitária da areia seca}}$$

$$\text{Volume de areia úmida (V. A . U)} = \text{V. A . S} \times \text{Coef. de inchamento}$$

J. 2 - Brita

$$\text{Volume de brita 1} = \frac{\text{Massa de brita 1}}{\text{Massa unitária de brita 1}}$$

$$\text{Volume de brita 2} = \frac{\text{Massa de brita 2}}{\text{Massa unitária de brita 2}}$$

K - Quantidade de Água

K. 1 - Quantidade de água necessária

$$A_1 = (A/C) \times C$$

K. 2 - Quantidade de água contida na areia (consideração da umidade)

Deve sempre ser considerado o volume de água carregado pelo agregado miúdo para o interior da massa, devido ao fato de que este volume, quando de umidade elevada, alterar de forma significativa o fator água/cimento.

$$A_2 = \text{Massa da areia seca} \times \text{Umidade (h)}$$

Portanto a quantidade de água a adicionar será:

$$A = A_1 - A_2$$

L - Custo do m³ de Concreto (material)

MATERIAL	QUANTIDADE (kg) OU (m ³)	CUSTO	
		UNITÁRIO	PARCIAL
Cimento			
Areia			
Brita 1			
Brita 2			
C U S T O T O T A L		(SOMA)	

DOSAGEM DO CONCRETO

- Método da ABCP / ACI -

A - Determinação da Dimensão Máxima do Agregado (D_{máx})

Conforme indicado no item 5. 2. 1 - A (Fixação de elementos para dosagem).

B - Fixação da Relação Água/Cimento (A/C)

Conforme indicado no item 5. 2. 1 - C (Fixação de elementos para dosagem).

C - Proporcionalamento de Britas

BRITAS UTILIZADAS	PROPORÇÃO
B ₀ e B ₁	30% B ₀ e 70% B ₁
B ₁ e B ₂	50% B ₁ e 50% B ₂
B ₂ e B ₃	50% B ₂ e 50% B ₃
B ₃ e B ₄	50% B ₃ e 50% B ₄

D - Determinação do Consumo de Água (C_a)

Abatimento do tronco de cone (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (D _{máx})				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

E - Determinação do Consumo de Cimento (C)

$$C = \frac{C_a}{A/C}$$

F- Determinação do Consumo de Agregado Graúdo (C_b)

$$C_b = V_c \times M_c \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Sendo : M_c = Massa unitária compactada;

V_c = Volume compactado seco de agregado graúdo por m^3 de concreto. (Quadro a seguir)

VOLUME COMPACTADO SECO DE AGREGADO GRAÚDO POR M^3 DE CONCRETO					
Módulo de	Dimensão máxima Característica do agregado Graúdo ($d_{máx}$)				
Finura	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
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
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

G - Determinação do Consumo de Agregado Miúdo (C_m)

$$C_m = mm \times V_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

com

$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{m_c} + \frac{C_b}{m_b} + \frac{C_a}{m_a} \right)$$

onde:

mm = Massa específica do agregado miúdo

m_c = Massa específica do cimento

m_b = Massa específica do agregado graúdo

m_a = Massa específica da água.

H - Apresentação do Traço

(Cimento : Agregado Miúdo : Agregado Graúdo : Relação água/cimento)

$$\frac{C}{C} : \frac{C_m}{C} : \frac{C_b}{C} : \frac{C_a}{C}$$

DOSAGEM DO CONCRETO

- MÉTODO DO INT -

A - Determinação da Dimensão Máxima do Agregado (D_{máx})

Conforme indicado no item 5. 2. 1 - A (Fixação de elementos para dosagem).

B - Fixação do Fator Água/Cimento (A/C)

Conforme indicado no item 5. 2. 1 - C (Fixação de elementos para dosagem).

C - Fixação do Fator Água/Mistura Seca (A%)

Conforme indicado no item 5. 2. 1 - D (Fixação de elementos para dosagem).

D - Determinação da Proporção Cimento:Agregado (1:m)

$$m = \frac{100 (A/C)}{A\%} - 1$$

E - Fixação da Porcentagem de Agregados na Mistura Seca

Através da elaboração de gráfico com as curvas granulométricas dos materiais utilizados e a curva granulométrica do I.N.T adequada, tem-se o proporcionamento dos agregados da mistura, ou seja, as porcentagens de brita B, brita A, e da fração areia mais cimento.

CURVAS DE GRANULOMETRIA DO I.N.T															
PENEIRA #	DIMENSÕES MÁXIMAS DOS AGREGADOS														
	9,5 mm			19 mm			25 mm			38 mm			50 mm		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
38	-----			-----			-----			-----			10	12	18
25	-----			-----			-----			14	17	24	22	26	36
19	-----			-----			10	12	17	23	26	36	29	34	45
9,5	-----			23	26	36	29	35	45	37	45	55	42	51	61
4,8	22	26	35	37	45	55	42	50	61	49	58	67	53	62	72
2,4	37	44	55	49	58	67	53	62	72	59	67	76	62	70	79
1,2	49	58	67	59	67	76	62	70	79	66	74	82	69	76	84

0,6	59 67 76	66 74 82	69 76 84	74 79 86	74 80 87
0,3	66 74 82	74 79 86	74 80 87	77 82 88	78 83 89
0,15	74 79 86	77 82 88	78 83 89	80 85 90	82 85 90
TIPO DE ADENSAMENTO:					
(I) - Manual (II) - Vibratório Moderado (III) - Vibratório Enérgico					

F - Determinação da Porcentagem de Cimento (%c)

$$\% c = \frac{100}{1 + m}$$

portanto:

$$\% a = \% (a + c) - \% c$$

G - Determinação do Traço do Concreto em Peso

$$a = \frac{\% a}{\% c} \qquad B1 = \frac{\% B1}{\% c} \qquad B2 = \frac{\% B2}{\% c}$$

Apresentação do traço : 1 : a : B1 : B2 : a/c

PREPARO DO CONCRETO

Controle do Concreto

A - Controles

A . 1 - Controle da Resistência

Para assegurar a obtenção de um concreto com as mesmas propriedades obtidas em laboratório é muito importante o controle da resistência. Embora nem sempre a resistência seja a mais importante ou a única propriedade requerida, geralmente é usada para se controlar a qualidade do concreto.

É válida a suposição de que qualquer variação introduzida durante o preparo do concreto se refletirá na sua resistência. Essas variações podem ocorrer na qualidade dos materiais, na eficiência dos equipamentos ou nos procedimentos. O resultado obtido, se acusar desvio na qualidade, indicará a necessidade de identificação da causa e da providência corretiva a ser tomada.

Além disso, o controle da resistência do concreto tem a finalidade de proporcionar informações sobre as propriedades do concreto realmente obtidas.

A média permite avaliar a correção dos métodos de execução e o desvio padrão é um indicativo da variabilidade, ou seja, dos cuidados durante as operações de preparo do concreto.

O controle pela resistência tem o inconveniente de serem os resultados obtidos depois do concreto lançado e endurecido. No caso de se concluir pela suficiência da qualidade do concreto, as providências são sempre problemáticas e às vezes dispendiosas.

O uso de ensaios com endurecimento acelerado atenua estes inconvenientes mas não os elimina completamente.

Por isso, é consenso geral de que o melhor controle é o que se faz previamente, ou seja, o controle dos materiais, equipamentos e procedimentos, procurando minimizar os riscos de no controle final, pela resistência, se obterem resultados indesejáveis.

A . 2 - Controle dos materiais

A qualidade do concreto fresco ou endurecido depende das características dos materiais utilizados. Variações destas características ou substituições de materiais por outros, por qualquer razão que seja, deverão ser conhecidas em tempo hábil para que se procedam às correções necessárias na mistura ou nos procedimentos, a fim de que as propriedades finais não sejam alteradas.

O quadro abaixo dá uma idéia geral da influência dos materiais nas propriedades do concreto:

Influência do Materiais nas Propriedades do Concreto

COMPONENTE	PROPRIEDADES	INFLUÊNCIA
Agregado Graúdo	Natureza	Pequena
	Forma	Variável
	Granulometria	Pequena
	Resistência	Variável
Agregado Miúdo	Natureza	Pequena
	Forma	Média
	Granulometria	Média
	Finura	Grande
	Impurezas	Grande
Cimento	Tipo	Variável
	Procedência	Variável
Água	Impurezas Nocivas	Grande

Alguns comentários que podem ser feitos sobre o referido quadro são:

a) um agregado graúdo friável (tem facilidade de se reduzir a fragmentos), como se viu na seção do transporte, pode ocasionar grandes problemas no concreto devido ao aumento da demanda de água;

b) a resistência do agregado, que depende da sua natureza, em geral, tem pouca influência sobre as propriedades do concreto, salvo no que foi mencionado na alínea A); em geral o efeito da resistência dos agregados é mais sensível no caso de concreto de alta resistência;

c) outro problema decorrente da natureza, depende da reatividade potencial com os álcalis do cimento (caso das calcedônias, ágatas e outros minerais);

d) a granulometria da areia tem grande influência sobre o concreto, pois uma areia mais fina exige mais água, obrigando a um reestudo do traço;

e) o teor de impurezas das areias se torna sério no caso de argila, quando ultrapassa os limites permitidos pelas normas e no caso de matéria orgânica, quando inibe a reações de hidratação do cimento

f) o tipo de cimento tem certas influências que, às vezes, devem ser consideradas, como por exemplo, um cimento de alto forno ou pozolânico resulta em resistências mais baixas nas primeiras idades mas depois atinge valores sensivelmente maiores. A retração desses tipos de cimento é um pouco mais intensa.

A substituição de um cimento de alto forno por um comum, em certos casos, exige uma redução dos limites máximos da relação água/cimento; e,

g) notam-se, às vezes, entre cimentos de marcas diferentes, diferenças na resistência, na finura ou em outras propriedades, como por exemplo, na coloração, que exigem alguns cuidados especiais.

Conclui-se dessas observações, que devemos controlar o material que será empregado no concreto, a fim de se assegurar dos efeitos devidos às suas propriedades e de que se possa proceder às eventuais correções que neutralizem as variações constatadas.

O que deve também ser evitado, são as alterações ou variações das suas propriedades ao longo do tempo.

A. 3 - Controle dos equipamentos

Durante o preparo do concreto são utilizados vários equipamentos para as diversas operações, como:

- balança para dosagem em massa;
- dosadores volumétricos;
- misturadores;
- agitadores;
- esteiras;
- bombas;
- vibradores;
- aplicadores de película de cura;

- outros.

Todos os equipamentos usados na obra deverão estar em bom estado, a fim de assegurar proporções corretas, mistura homogênea e íntegra, preservação dessas qualidades durante as operações subsequentes e, finalmente, um adensamento e cura eficientes. Para isso, deve-se proceder à verificações e revisões periódicas, como por exemplo, foi citado no caso da mistura.

O bom estado do equipamento não só assegura as qualidades do concreto como a sua economia, pois permite ciclos mais curtos, e portanto, obtenção de maiores quantidades de concreto em menos tempo.

A. 4 - Controle dos procedimentos

O controle dos procedimentos é o coroamento do conjunto de controles, pois materiais de características conhecidas e equipamentos eficientes e em perfeito funcionamento, pouco ou nada servem se os procedimentos necessários às diversas operações não forem devidamente conduzidos.

Os equipamentos vêm em geral, acompanhados de especificações e manuais com as informações sobre capacidades, tolerâncias, operação e manutenção. A regra geral, é atender às instruções do fabricante que, quando idôneo, é responsável pelo desempenho do equipamento.

INSPEÇÃO DO CONCRETO

A - Introdução

A inspeção do concreto é o conjunto de procedimentos utilizados para que se possa garantir a qualidade desejada da obra, obedecendo ao projeto, com a adoção de uma boa prática construtiva. Ela não deve compreender apenas o interesse do proprietário em garantir os requisitos estabelecidos para sua construção, mas também, o indispensável autocontrole que deve ser estabelecido pelo construtor através de sua assessoria tecnológica.

Em geral, a inspeção das obras de concreto envolvem as seguintes atividades:

- 1) identificação, exame, aceitação e qualquer ensaio de materiais;
- 2) controle da dosagem e da mistura, ensaios de consistência, teor de ar incorporado e peso unitário do concreto;
- 3) exame da fundação, fôrmas e outros trabalhos preparativos para concretagem;
- 4) verificação da mistura, transporte, lançamento e adensamento;
- 5) preparação de qualquer amostra do concreto para ensaios de laboratório;
- 6) observação geral sobre os equipamentos disponíveis para construção, condições de trabalho, condições climáticas e outros fatores que possam influenciar no concreto;
- 7) preparação de registros e relatórios.

Convém acentuar que os objetivos da inspeção não são meramente técnicos, ou seja, que as estruturas possuam qualidade suficientemente uniforme para lhe garantir utilidade durante a vida que lhe é atribuída. Tem-se que considerar a economia, sem o que não temos visto senão uma parte do problema.

Ninguém pode considerar os requisitos de qualidade sem dar a devida importância às exigências da economia, da mesma maneira que não se pode produzir concreto deixando de lado o cimento. Acontece, porém, que as coisas se passam, de uma certa maneira, illogicamente. Há gastos exagerados no desperdício e nos prejuízos da má execução, quando não se desenvolve uma tendência, a se exigir cada vez mais dos materiais, sem o correspondente controle de sua qualidade ou de sua aplicação. E esta é a razão principal dos problemas que nos afligem no momento. Dessa forma, o controle de qualidade se constitui no mais importante aspecto da inspeção e por isso mesmo é o mais discutido.

O controle de qualidade visa a resistência, a durabilidade e o bom aspecto do material. Pode-se medir a resistência, avaliar o aspecto, mas há sempre dúvidas quanto à durabilidade,

que é o inverso da deterioração. Através daquele controle tenta-se dar uniformidade ao material, condição indispensável para se evitar a sua destruição.

Deve-se sempre considerar o fato de que o concreto é um material complexo, delicado e difícil para ser trabalhado. Exige-se profissionais competentes para o projeto das estruturas no papel. No entanto, quando se pretende traduzir o projeto dando formas físicas às estruturas, ocorrem inúmeros problemas. O mais sério deles é o relativo à mão-de-obra, que para ser especializada exige experiência variada enfrentando situações singulares. Fatores indispensáveis como a convivência com os elementos, com falhas humanas, com cronogramas e orçamentos apertados, exigem todo esse cabedal é, muitas vezes, barganhando por preço vil no mercado competitivo com pouca atenção para a segurança da obra e das pessoas.

Por isso mesmo a inspeção exige atenção especial e não pode ser improvisada. Aqui também ocorre graves problemas de competição, sobretudo quando a utilização dos recursos humanos envolvidos.

PRINCIPAIS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA INSPEÇÃO DO CONCRETO	
Atividades	Descrição
Atividades Preliminares	Desde o estudo das plantas e especificações até questões relacionadas com a organização e métodos.
Dosagem	Estudos de dosagem que precedem a construção
Materiais	Medidas gerais aplicadas a todos os materiais tais como identificação, quantidades, aceitação, uniformidade, condições de estocagem, métodos de manuseio e perdas. Controle do cimento, agregados, águas, aditivos, barra de aço para armadura
Antes da Concretagem	Alinhamento e nivelamentos. Escavações, fundações, formas, armaduras. Verificações de aberturas não apresentadas nas plantas. Medidas para assegurar o satisfatório funcionamento dos equipamentos.
Concretagem	Operações envolvidas na concretagem desde as condições de trabalho até as operações normais de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto. Acabamentos.

Concreto Pré Fabricado	Análise da usina. Focalização das condições do transporte e das características do concreto fresco recebido. Preparação do corpo de prova para resistência à compressão.
Depois da Concretagem	Proteção contra avarias. Tempo para remoção das formas. Cura.
Ensaio do Concreto	Métodos de ensaios utilizados e sua correta aplicação. Interpretação dos resultados.
Registros e Relatórios	Preparação dos registros e relatórios. Diário de obra. Fotografias.

ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

Devem ser realizados ensaios pelo abatimento de tronco de cone, conforme NBR 7223, ou pelo espalhamento do tronco de cone, conforme NBR 9606.

Para o concreto preparado pelo executante da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações de umidade nos agregados e nas seguintes situações:

- a) na primeira amassada do dia;
- b) ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2h;
- c) na troca de operadores;
- d) cada vez que forem moldados corpos-de-prova.

Para o concreto preparado por empresas de concretagem devem ser realizados ensaios de consistência a cada betonada.

A. Ensaio de Resistência a Compressão

Os resultados dos ensaios de resistência, conforme NBR 5739, realizadas em amostras formadas como segue, devem servir para aceitação ou rejeição dos lotes.

B. Formação de Lotes

A amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam a todos os limites da tabela 2 (abaixo). De cada lote deve ser retirada uma amostra, com número de exemplares de acordo com o tipo de controle.

C. Amostragem

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a NBR 5750. Cada exemplar é constituído por dois corpos-de-prova, da mesma amassada, conforme a NBR 5738, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência o maior dos dois valores obtidos no ensaio do exemplar.

Tabela 1- Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

CONDIÇÃO	DESVIO-PADRÃO MPa
A	4,0
B	5,5
C*	7,0
Para condição do preparo C, e enquanto não se conhece o desvio-padrão, exige-se para o concreto da classe C15 o consumo mínimo de 350kg de cimento por metro cúbico.	

Tabela 2 - Valores para a formação de lotes de concreto

LIMITES SUPERIORES	SOLICITAÇÃO PRINCIPAL DOS ELEMENTOS DA ESTRUTURA	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de Concreto	50m ³	100m ³
Número de Andares	1	1
Tempo de Concretagem	3 dias para concretagem ⁽¹⁾	
⁽¹⁾ Este período deve estar compreendido no tempo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

D - Tipos de Controle da Resistência

Consideram-se dois tipos de resistência: o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle do concreto por amostragem total. Para cada um destes tipos é prevista uma forma de cálculo do valor estimado da resistência característica f_{ck} dos lotes de concreto.

E - Controle Estatístico do Concreto por Amostragem Parcial

Para este tipo de controle em que são retiradas algumas betonadas de concreto, as amostras devem ser de no mínimo seis exemplares para concretos do Grupo I (Classe C50, inclusive) e doze exemplares para concreto do Grupo II (classes superiores a C50) como define a NBR 8953:

a) para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$ o valor estimado da resistência característica à compressão (f_{ckest}), na idade especificada, é dado por:

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

onde:

$m = n/2$. Despreza-se o valor mais alto de n se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m = valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

NOTA - Não se deve tomar para f_{ckest} valor menor que $\psi_6 \cdot f_1$, adotando-se para ψ_6 os valores da tabela 3, em função da condição do preparo do concreto e do número de exemplares da amostra, admitindo-se interpolação linear.

b) para lotes com número de exemplares $n \geq 20$:

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65 S_d$$

onde:

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, em megapascals;

S_d é o desvio-padrão do lote para $n-1$ resultados, em megapascals.

F- Controle do Concreto por Amostragem Total (100%)

Consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto e aplica-se a casos especiais, a critério do responsável técnico pela obra. Neste caso não há limitação para o número de exemplares do lote e o valor estimado da resistência característica é dado por:

a) para $n \leq 20$, $f_{ckest} = f_1$;

b) para $n > 20$, $f_{ckest} = f_i$.

onde:

$i = 0,05n$. Quando o valor de i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior.

G - Casos Excepcionais

Pode-se dividir a estrutura em lotes de no máximo 10m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5. Nestes casos, denominados excepcionais, o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$f_{ckest} = \psi_6 \cdot f_1$$

onde ψ_6 é dado pela tabela 3, para os números de exemplares de 2 a 5.

TABELA 3 - VALORES PARA ψ_6

CONDIÇÕES DE PREPARO	NÚMERO DE EXEMPLARES (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

Nota - os valores de n entre 2 e 5 são empregados para casos excepcionais.

Os lotes de concreto devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica, satisfizer a relação:

$$f_{ckest} \geq f_{ck}$$

NOTA - Em caso de rejeição de lotes, devem-se recorrer aos critérios estabelecidos na NBR 6118.

CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Critérios Para Aceitação da Estrutura

A - Aceitação Automática

Satisfeitas as condições de projeto e de execução previstas pela NBR - 6118, a estrutura será automaticamente aceita se:

$$f_{ck, est} > f_{ck}$$

ou

$$f_{ck, est} = f_{ck}$$

B - Decisões a Adotar Quando não Há Aceitação Automática

Quando não houver aceitação automática, a decisão basear-se-á em uma ou mais das seguintes verificações:

B. 1 - Revisão do projeto

O projeto da estrutura será revisto, adotando-se para o lote de concreto em exame

$$f_{ck} = f_{ckest}.$$

B. 2 - Ensaaios especiais do concreto

A investigação direta da resistência do concreto será feita através de ensaios de pelo menos 6 corpos de prova extraídos da estrutura, os quais deverão ter diâmetro de 15cm, corrigindo-se os resultados em virtude dos efeitos do broqueamento e também, se for o caso, se a razão entre a altura e o diâmetro do corpo de prova for diferente de 2.

Os corpos de prova deverão ser extraídos de locais distribuídos de forma a constituírem uma amostra representativa de todo o lote em exame.

No caso de estrutura que deverá ficar imersa, os corpos de prova deverão permanecer imersos nas 48 horas que antecedem o ensaio.

O correspondente valor estimado da resistência característica será calculado, aumentando-se 10% ou (15%), em virtude de se tratar da resistência do concreto na própria estrutura, e não se tomando valores inferiores a $1,1 \times \Psi_6 \cdot f_l$ (ou $1,15 \times \Psi_6 \cdot f_l$). Os valores entre parênteses aplicam-se quando o número de corpos de prova é pelo menos 18.

Na interpretação dos resultados, deverão ser levadas em conta a idade do concreto na ocasião e o efeito sobre a resistência das ações de longa duração que tenham atuado até então.

Com as devidas precauções quanto a interpretação dos resultados e como medida auxiliar de verificação da homogeneidade do concreto da estrutura, poderão ser efetuados ensaios não destrutivos de dureza superficial ou de medida de velocidade de propagação de ultra-som, de acordo com métodos estudados e aprovados por laboratório nacional idôneo.

B. 3 - Ensaio da estrutura

Quando houver dúvida de qualquer natureza sobre uma ou mais partes da estrutura, as quais não possam ser dirimidas por investigação analítica, a decisão a ser tomada poderá ser baseada nos resultados obtidos em ensaios da estrutura realizado de acordo com método pré-estabelecido.

Durante a realização do ensaio deverão ser medidas grandezas que revelem o comportamento da estrutura. O ensaio cessará se surgir indício de ruína.

Na verificação relativa a estados limites de utilização, o ensaio será feito com a carga total

$$G_k + Q_k$$

e na relativa a estados limites últimos, com a carga correspondente à maior das duas seguintes:

$$G_k + \frac{Q_k + Q_d}{2}$$

$$1,2 G_k$$

B. 4 - Decisão

Se das mencionadas verificações concluir-se que as condições de segurança da NBR 6118 são satisfeitas, a estrutura será aceita.

Em caso contrário tomar-se-á uma das seguintes decisões:

- 1) *A parte condenada da estrutura será demolida;*
- 2) *A estrutura será reforçada;*
- 3) *A estrutura será aproveitada com restrições quanto ao seu carregamento ou seu uso.*