

ESTUDO TÉCNICO

PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO



ET-15



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

por

Hernani Sávio Sobral
Engenheiro Civil

São Paulo
outubro de 2000

1ª edição - 1977
2ª edição - 1980
3ª edição - 1984
4ª edição - 1990 (revista e atualizada)
5ª edição - 1996 (mudanças no aspecto gráfico)
6ª edição - 2000

SOBRAL, Hernani Sávio

Propriedades do concreto fresco. 5.ed. São Paulo,
Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000.
32p. (ET-15)

Concreto fresco

CDD 691.32

ISBN 85-87024-43-4

Proibida a reprodução total ou parcial.
Todos os direitos reservados à
Associação Brasileira de Cimento Portland
Av. Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré
CEP 05347-902 São Paulo/SP
Tel.: (55-11) 3760-5300 - Fax: (55-11) 3760-5370

SUMÁRIO

1	GENERALIDADES	5
2	TRABALHABILIDADE DOS CONCRETOS - CONCEITUAÇÃO E IMPORTÂNCIA	5
3	FATORES QUE AFETAM A TRABALHABILIDADE	10
3.1	Fatores Dependentes da Consistência	10
3.1.1	Teor de água/mistura seca	10
3.1.2	Tipo e finura do cimento	11
3.1.3	Granulometria e forma do grão do agregado	11
3.1.4	Ação combinada de fatores	12
3.1.5	Aditivos	15
3.1.6	Tempo, temperatura e umidade relativa do ar	16
3.2	Fatores Dependentes da Manipulação	17
3.2.1	Tipos de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto	17
3.2.1.1	Mistura	17
3.2.1.2	Transporte e lançamento	19
3.2.1.3	Adensamento	20
3.3	Fatores Dependentes das Condições do Projeto	21
3.3.1	Dimensões dos elementos estruturais	21
3.3.2	Afastamento das armaduras	21

4	AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA	21
4.1	Classificação dos Ensaios	21
4.2	Ensaio Baseados na Deformação	23
4.2.1	Ensaio de abatimento	23
4.2.2	Ensaio de <i>Powers</i>	25
4.2.3	Ensaio de <i>VeBe</i>	26
4.2.4	Outros ensaios	28
4.3	Ensaio Baseados na Penetração	28
4.4	Ensaio Baseados na Compacidade	28
4.5	Ensaio Baseados no Escoamento	28
4.6	Comparação dos Métodos	29
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	30

1 GENERALIDADES

O concreto é um material resultante da aglomeração de agregados miúdos e graúdos, por uma pasta de cimento eventualmente contendo aditivos, é denominado fresco enquanto a pasta estiver no estado fluido ou plástico e permitir uma rearrumação das partículas constituintes por uma ação dinâmica qualquer. O conjunto pasta e espaços cheios de ar é modernamente chamado de *matriz*¹, denominação já consagrada para a rocha que envolve um fóssil.

O ar encontra-se em cavidades formadas na pasta, sob a forma de bolhas ou em espaços interligados, determinando, através da predominância de uma dessas formas, respectivamente, a plasticidade ou a não plasticidade da mistura.

Os valores da resistência e de outras propriedades do concreto endurecido são determinados pela composição da matriz, particularmente pelo teor de cimento. Essa composição pode ser expressa pela relação vazios/cimento ou pelo seu inverso, considerando-se como vazios os volumes de ar e água existentes na matriz. Na maioria dos casos os vazios são ocupados, principalmente, por água, o que torna possível estabelecer a composição da matriz em termos de relação água/cimento. Entretanto, essa regra é discutível, quando a mistura possui ar artificialmente incorporado.

No caso do concreto fresco, muito mais importante que a relação água/cimento é o teor de água/mistura seca, ou seja, a percentagem da massa de água em relação à massa da mistura seca (cimento + agregado), parâmetro de grande importância na sua dosagem.

2 TRABALHABILIDADE DOS CONCRETOS - CONCEITUAÇÃO E IMPORTÂNCIA

O atual estágio de desenvolvimento da tecnologia da construção tem exigido uma correspondente melhoria na qualidade do concreto. Essas crescentes exigências referem-se, geralmente, ao concreto endurecido, por que o concreto ainda no estado plástico interessa apenas à fase construtiva. Tem-se verificado, no entanto, que as propriedades do concreto fresco e as do endurecido estão tão relacionadas que devem ser consideradas simultaneamente. Isso significa que não se pode produzir concreto endurecido de alta qualidade se o concreto no estado plástico não tiver propriedades satisfatórias². A mais importante dessas propriedades é, sem dúvida, a *trabalhabilidade*, que na verdade agrupa várias propriedades fundamentais do concreto fresco.

Quando os concretos frescos apresentam características (consistência e dimensão máxima do agregado) adequadas ao tipo da obra a que se destinam (dimensões das peças, afastamento e distribuição das barras das armaduras) e aos métodos de lançamento, de adensamento e de acabamento que vão ser adotados, não apresentam segregação ou exsudação, podem ser adequadamente compactados e envolverem totalmente as armaduras, diz-se ser ele trabalhável.

A noção de trabalhabilidade é, portanto, muito mais subjetiva que física. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo que, aplicado ao concreto, traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto e o bom rendimento da execução³.

A escolha do teor de água do concreto fresco adequado ao processo de preparação é de grande importância para o êxito da operação. Se for usada uma mistura muito seca, o resultado é um adensamento inadequado e superfícies externas mal-acabadas, ou um custo excessivo do concreto, pelo consumo excessivo de energia. Por outro lado, uma mistura muito úmida pode levar à segregação e à baixa qualidade, além de encarecer a mistura. Pode-se dizer, no entanto, que um pequeno excesso de água na mistura é, geralmente, menos prejudicial do que a sua falta⁴.

Para que se possa obter densidade satisfatória, o esforço necessário para adensar deverá sobrepujar não só o atrito interno da mistura, como, também, o atrito do concreto com as superfícies das fôrmas e das armaduras. O concreto precisa, portanto, possuir em tais circunstâncias, capacidade de se adensar facilmente. A essa propriedade, *RITCHIE*⁵ chamou de compactabilidade o que, na verdade, corresponde ao antigo conceito de *workability* desenvolvido por *GLANVILLE*⁶, como sendo aquela propriedade do concreto fresco que determina a quantidade de energia necessária à completa compactação. Essa propriedade pode ser caracterizada pela relação entre a massa específica de uma amostra do concreto, comparada com a obtida teoricamente, a partir das massas específicas dos componentes.

Deve ser considerada também a mobilidade, que pode ser definida como o inverso da resistência interna à deformação, e depende de três características do concreto fresco — ângulo de atrito interno, coesão e viscosidade. Muitos pesquisadores têm analisado essas características do concreto, na tentativa de explicar o comportamento do concreto fresco durante seu transporte, lançamento, adensamento e acabamento⁷.

Do ponto de vista prático significa que, além da mistura encher completamente a fôrma, o concreto fresco deve possuir a condição para se depositar sem perder sua continuidade. A essa propriedade *POWERS*¹ preferiu dar o nome de plasticidade.

Prosseguindo nessa análise do grupo de propriedades relacionadas com a trabalhabilidade, vale lembrar os conceitos emitidos por *NEWMAN*⁸, de que a trabalhabilidade do concreto envolve pelo menos três propriedades, a saber: as duas acima consideradas – compactabilidade e mobilidade – e uma terceira, a estabilidade. Não há dúvida de que, ao se considerar a trabalhabilidade de um concreto está implícita, em termos gerais, a necessidade de que a mistura seja estável, isto é não segregue facilmente, embora a tendência à segregação não possa ser considerada, estritamente falando, como condição incompatível com uma mistura trabalhável. O mesmo não se pode dizer quando a segregação é notada, pois sua ausência é essencial para se conseguir a conveniente compactação da mistura.

A segregação é, assim, entendida como a separação dos constituintes da mistura, impedindo a obtenção de um concreto com característica de razoável uniformidade. É na diferença de tamanho dos grãos do agregado e na massa específica dos constituintes, que se encontram as causas primárias da segregação, mas seu aparecimento pode ser controlado pela escolha conveniente da granulometria dos agregados e pelo cuidado em todas as operações de produção que culminam com o adensamento.

Existem duas formas de segregação: na primeira, os grãos maiores do agregado tendem a separar-se dos demais, quer quando se depositam no fundo das fôrmas, quer quando se deslocam mais rapidamente, no caso de concretos transportados em calhas; na segunda forma, comum nas misturas muito plásticas, manifesta-se a nítida separação da pasta. Quando são utilizados alguns tipos de granulometria em concretos pobres e secos, poderá ocorrer a primeira forma de segregação. A adição de água poderá melhorar a coesão, mas quando a mistura se torna muito úmida criam-se condições para aparecimento da segunda forma⁹.

A segregação pode ocorrer, também, como resultado de vibração intensa. Um concreto em que isso venha a acontecer será, obviamente, um concreto mais fraco e sem uniformidade.

A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recém-lançado. Esse fenômeno é provocado pela impossibilidade dos constituintes sólidos fixarem

toda a água da mistura e depende, em grande escala, das características do cimento.

Como resultado da exsudação, a superfície superior de cada camada de concreto pode tornar-se muito úmida e, se a água é impedida de evaporar-se pela camada que lhe é superposta, poderá aparecer uma camada de concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade. A exsudação pode causar, também:

- a) enfraquecimento da aderência pasta-agregado, em alguns pontos; e,
- b) aumento de permeabilidade.

A exsudação pode não ser necessariamente prejudicial, desde que não determine perturbações na estrutura do concreto. Nesse caso, a água ao evaporar reduz a relação água/cimento e, conseqüentemente, haverá aumento de resistência⁹.

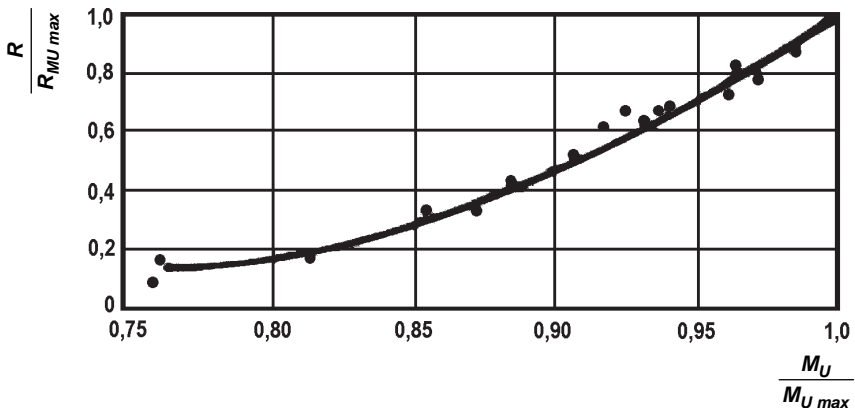
A trabalhabilidade, como se vê, não é apenas característica inerente ao concreto, como ocorre com a consistência; envolve também considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados. Assim, um concreto adequado para peças de grandes dimensões e pouco armadas pode não o ser para peças delgadas e muito armadas; e, ainda, um concreto que permita perfeito adensamento com vibração (sem segregação dos elementos componentes e sem deixar vazios) dificilmente proporcionará moldagem satisfatória com adensamento manual. Um concreto pode, portanto, ser trabalhável num caso e não o ser em outro. Por outro lado, há misturas que não são trabalháveis em caso algum¹⁰.

Considerando-se determinada obra (dimensões das peças e tipo de armaduras), supondo-se satisfatória a dimensão máxima do agregado e admitido o uso de certo processo de execução, a trabalhabilidade dependerá apenas da consistência do concreto. Num dado caso da aplicação será possível, entretanto, utilizar-se uma série de misturas, todas trabalháveis, mas de consistências variáveis dentro de certos limites: concretos secos ou úmidos, plásticos e fluidos. A natureza da obra e a intensidade adotada para o adensamento indicarão o grau de consistência mais conveniente.

A trabalhabilidade do concreto é fundamental para conseguir-se compactação que assegure uma massa específica máxima possível, com aplicação de uma quantidade de energia compatível com o processo de adensamento a ser empregado.

A vantagem da compactação pode ser demonstrada através de um estudo da relação entre o grau de compactação e a resistência resultante.

Representadas em abscissas as relações entre as massas unitárias correspondentes a diversas compactações e a massa unitária da mistura mais bem compactada, e em ordenadas as relações entre as resistências e a máxima obtida, dados resultantes de experiências de *GLANVILLE, COLLINS & MATTHEWS*⁶, obtém-se a curva da *Figura 1*. Nessa figura, observa-se que a redução de compacidade do concreto corresponde à redução de sua resistência e ainda a diferença entre a relação correspondente à máxima compactação e qualquer outra relação de compacidade menor representa o teor de vazios acrescentados aos existentes no concreto mais compactado. Por exemplo, 5% de vazios podem reduzi-la de cerca de 30% e apenas 2% representam queda de mais de 10%.



$\frac{M_U}{M_{U\ max}}$ = Relação entre as massas unitárias e a correspondente à máxima compactada.

$\frac{R}{R_{MU\ max}}$ = Relação entre as resistências e a correspondente à máxima compactada.

FIGURA 1 - Relação entre os índices de resistência e de massas unitárias (Cf. Ref. 6)

Segue-se que, para cada tipo de compactação deve haver uma quantidade ótima de água para a mistura em estudo, segundo a qual a soma do volume de vazios da água removida e das bolhas de ar seja mínima. Com essa quantidade ótima de água, a máxima densidade do concreto será obtida, o que concorrerá para maior resistência mecânica do mesmo, melhor aderência e ancoragem das armaduras, maior impermeabilidade e resistência aos agentes agressivos.

3 FATORES QUE AFETAM A TRABALHABILIDADE

A trabalhabilidade é afetada por três classes de fatores:

- a) características do próprio concreto, representadas pela sua consistência, que corresponde ao grau de plasticidade da massa e pela sua capacidade de manter-se homogênea;
- b) condições de manipulação, envolvendo os tipos de equipamentos e sistemas de trabalho adotados nas operações e produção, transporte e lançamento do concreto;
- c) condições de projeto, caracterizadas pelas dimensões dos elementos de construção e afastamento das armaduras¹¹.

3.1 Fatores Dependentes da Consistência

3.1.1 Teor de água/mistura seca

O principal fator que influi na consistência é, sem dúvida, o teor água/mistura seca, expresso em percentagem da massa da água em relação à massa da mistura cimento e agregados.

Vale mencionar que é por intermédio do teor água/mistura seca que se verifica a influência, obviamente indireta, da relação água/cimento na consistência.

Vários pesquisadores têm tentado relacionar o teor de água/mistura seca com a consistência do concreto fresco resultante, em termo quantitativo. Todos eles, no entanto, têm sido obrigados a utilizar os equipamentos disponíveis para medida da consistência, que, como ver-se-á, não têm possibilidade de medir a única propriedade do concreto fresco que pode ser quantificada. Dessa

forma, as relações obtidas restringem-se a concretos estudados pelo mesmo equipamento.

Pode-se verificar, praticamente, essa influência, mantendo-se constante a granulometria e o consumo de cimento de uma mistura e fazendo variar a quantidade de água. Verifica-se que o concreto torna-se mais plástico. Se, no entanto, a quantidade de água aumenta além de um certo limite, a mistura torna-se pouco trabalhável. A pasta de cimento torna-se tão fluida que a camada lubrificante que ela formou, do mesmo modo que um óleo de motor muito fluido, se rompe, e os grãos do agregado passam a atritar-se diretamente uns sobre os outros.

Durante a realização de uma experiência, como a descrita, pode-se verificar que, às vezes, uma pequena porção adicional de água é suficiente para tornar uma mistura trabalhável e que, também, um pouco mais pode levá-la a um estado exageradamente plástico.

3.1.2 Tipo e finura do cimento

Os cimentos portland podem diferir entre si quanto à necessidade de água para uma mesma consistência¹². A diferença é bem maior no caso dos cimentos pozolânicos, à base de pozolanas naturais, que exigem muito mais água do que os portland comuns.

Há certos casos, no entanto, em que o aumento da superfície específica do cimento, até um certo limite, mantido um mesmo volume de água, apresenta abatimentos no concreto fresco cada vez maiores, contrastando com os resultados de ensaios de cimento com consistência normal, nos quais o aumento da superfície específica exige sempre mais água. A explicação para o aparente paradoxo encontra-se no fato de que nestes últimos ensaios mede-se, principalmente, a viscosidade da pasta, enquanto que os resultados dos ensaios de abatimento são grandemente influenciados pela capacidade de lubrificação da mesma.

Quanto maior o teor de cimento maior a quantidade de água necessária para uma dada consistência. Como consequência deduz-se a influência do agregado¹³.

3.1.3 Granulometria e forma do grão do agregado

Para analisar a influência da granulometria do agregado na consistência do concreto faz-se variar a relação agregado miúdo/agregado graúdo, mantendo

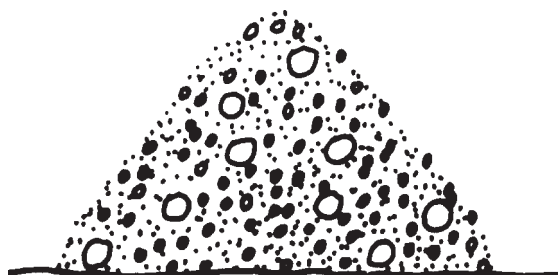
constantes as quantidades de cimento e de água. Tome-se, por exemplo, um concreto que consuma 300 kg de cimento por metro cúbico e 150 ℓ de água. Permanecendo fixas essas quantidades, varia-se, nos agregados, a percentagem de areia em relação à pedra, por exemplo: 70% e 30% (*Figura 2a*), 50% e 50% (*Figura 2b*) e 30% e 70% (*Figura 2c*) e verifica-se o que se passa. Quando a proporção de pedra aumenta, a superfície total dos grãos diminui, o que representa, para uma quantidade fixa de pasta de cimento, uma diminuição de atritos internos e um melhor envolvimento dos grãos. Conseqüentemente, o concreto se torna mais plástico (*Figura 2b*). Se, no entanto, a proporção de pedra aumenta muito, até 70%, por exemplo, chega um momento em que as pedras são postas diretamente em contato uma com a outra e a argamassa disponível poderá, no máximo, preencher parte dos vazios. Disso resulta uma grande perda de plasticidade, o concreto deixa de ser trabalhável, não podendo ser convenientemente adensado por que lhe falta lubrificação e, conseqüentemente, cresce muito o atrito interno¹⁴ (*Figura 2c*).

Entre as misturas limites existe, entretanto, uma ótima que apresenta a melhor consistência e a melhor trabalhabilidade. No entanto, na prática, na escolha da mistura conveniente, intervém a necessidade da fixação de um teor de água/mistura seca. Para que se tenha um bom concreto, a primeira exigência é que esse teor seja o mais baixo possível, o que é viável quando a mistura contém grãos mais grossos. A solução consiste portanto em escolher uma proporção de pedra que seja a maior possível para uma boa plasticidade da mistura.

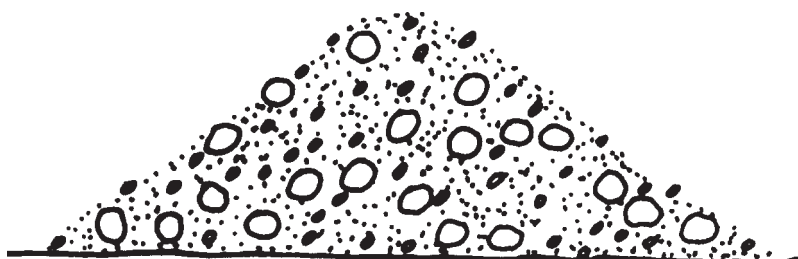
A forma do grão traduz a feição exterior que o mesmo apresenta, no que tange à relação de dimensões, às arestas, aos cantos e às faces. A NBR 7225 (antiga TB-16) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)¹⁵ classifica-os em função desses parâmetros. As formas que se afastam dos tipos esférico e cúbico influem desfavoravelmente no concreto, exigindo mais água para uma mesma consistência. Há uma estreita relação entre essas formas e a percentagem de vazios no agregado solto, como foi salientado por POWERS¹.

3.1.4 Ação combinada de fatores

Considere-se o caso prático de um concreto fresco em que a composição granulométrica é mantida constante. Faça-se variar a quantidade de cimento conservando a mesma quantidade de água ou mantenha-se a relação água/cimento constante.



2a - 70% areia
30% pedra



2b - 50% areia
50% pedra

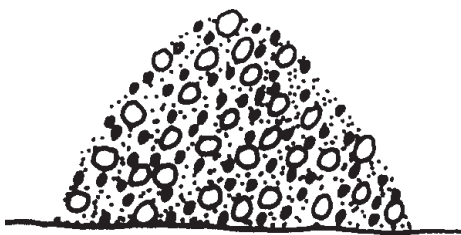


2c - 30% areia
70% pedra

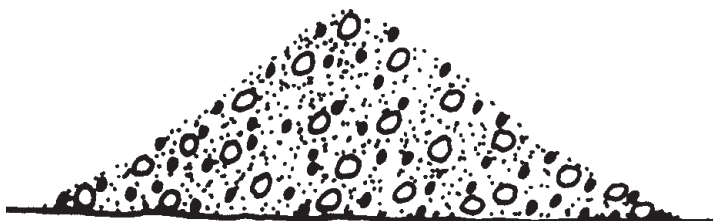
FIGURA 2 - Influência da granulometria (Cf. Ref. 14)

No primeiro caso (água constante), o aumento da quantidade de cimento produz um enriquecimento da mistura, que se torna cada vez mais seca à medida que essa quantidade aumenta (*Figura 3a*). No segundo caso (relação água/cimento constante), um aumento da quantidade de cimento conduz a uma melhoria da plasticidade (*Figura 3b*). Quanto maior o volume de pasta, mais espessa é a camada que envolve os grãos do agregado e mais eficaz a lubrificação de seus movimentos relativos. Não se pode, no entanto, aumentar a quantidade de cimento sem limite, por que, neste caso, ocorreria uma ligeira baixa na resistência, um aumento de retração e uma maior tendência à segregação¹⁴.

Se, por outro lado, em vez de considerar-se constante a quantidade de água, como no primeiro caso, mas, sim, o teor de água/mistura seca, quando a relação agregado/cimento é reduzida (traço enriquecido), a relação água/cimento decresce, todavia a consistência do concreto não é sensivelmente afetada.



3a - com quantidade de água constante



3b - com relação a/c constante

FIGURA 3 - Influência do aumento da quantidade de cimento, mantendo a relação a/c constante (Cf. ref. 14)

3.1.5 Aditivos

Os aditivos, como se sabe, são produtos que, juntados às argamassas e aos concretos no momento da mistura, têm por objetivo modificar certas características dessas argamassas e concretos, seja quando ainda frescos ou durante a sua passagem ao estado endurecido.

Os aditivos podem, por vezes, compensar defeitos provenientes dos constituintes de certos tipos de concretos e reduzir os custos de preparação e lançamento dos mesmos.

A cada aditivo deve ser atribuído um fim bem determinado, como ação principal, podendo ocorrer ações secundárias cujos efeitos devem ser bem avaliados.

Os aditivos colocam em jogo, principalmente, ações físicas e físico-químicas, de tensão superficial, de adsorção de modificação das forças de atração entre as partículas de cimento, de modificações da velocidade das reações de hidratação durante a pega e o endurecimento, e de combinações com certos constituintes do cimento.

A Comissão 11 da *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (RILEM)*¹⁶ classificou os aditivos, baseada essencialmente no objetivo que é desejada com a utilização dessas substâncias. Certos aditivos, como já foi dito, poderão, no entanto, apresentar outros efeitos importantes. Nesse caso serão classificados segundo esses outros pontos de vista. De acordo com suas ações principais são classificados em:

- a) agentes modificadores da reologia das argamassas e concretos (redutores de água, incorporadores de ar, plastificantes, floculantes e espessantes);
- b) agentes modificadores do teor de ar do concreto (incorporadores de ar, desaeradores, geradores de gás, geradores de espuma);
- c) agentes modificadores da pega e do endurecimento (retardadores e aceleradores);
- d) agentes expansivos das argamassas e dos concretos;
- e) agentes que melhoram a resistência às ações físicas (ao congelamento, à penetração da água, repulsivos à água);

- f) agentes que melhoram a resistência às ações mecânicas (adesivos);
- g) agentes que melhoram a resistência às ações químicas (inibidores de corrosão, modificadores da reação álcali/agregado, resistentes às ações agressivas);
- h) agentes que melhoram a resistência às ações biológicas (fungicidas, bactericidas, germicidas e inseticidas); e,
- i) agentes que modificam a cor das argamassas e dos concretos (colorantes).

Para o mesmo teor de água, os aditivos redutores de água e a maioria dos redutores químicos melhoram a plasticidade do concreto.

É conhecida, também, a influência do ar incorporado sobre a plasticidade. Essa influência é mais acentuada em misturas pobres do que naquelas com alto teor de cimento. Em geral, a incorporação de 5% de ar aumenta o abatimento de 1 cm a 6 cm, por tornar o concreto mais plástico e, portanto, mais compactável. No entanto, não se deve esquecer que a mudança de consistência depende das propriedades da mistura¹⁷. Essa influência do ar incorporado se estende aos concretos leves.

Há poucos anos foram introduzidos na tecnologia do concreto os chamados superplastificantes que, como sugere o nome, determinam grandes abatimentos. Mas os efeitos desses aditivos são mantidos por cerca de uma hora, voltando, após, às suas características originais.

3.1.6 Tempo, temperatura e umidade relativa do ar

As misturas de concreto recém-preparadas enrijecem com o tempo. Esse enrijecimento não deve ser confundido com a pega do cimento, pois resulta da absorção de parte da água pelo agregado, da evaporação de outra parte, sobretudo se o concreto está exposto ao sol e ao vento, e, ainda, da perda da água utilizada nas reações químicas de hidratação iniciais.

Pelas razões acima, que evidenciam mudança na consistência, e tendo em vista que o que nos interessa é a consistência no momento de lançamento, *NEVILLE*⁹ aconselha que sua verificação seja realizada algum tempo após a mistura – quinze minutos, por exemplo.

A temperatura ambiente e a umidade do ar, também, influem na consistência do concreto. A experiência brasileira mostra que nos locais próximos ao mar as variações dessas grandezas praticamente não existem; no entanto, no interior do País, em locais de clima seco, são bastante acentuadas.

Os aspectos abordados acima têm particular importância nos casos dos concretos pré-misturados, nos quais o lapso de tempo entre a mistura (com água) e o lançamento pode ser considerável. É óbvio que num ambiente adversos, quente, com pouca umidade ou ventoso, o intervalo de tempo entre a mistura e o lançamento deve ser o mínimo possível. No caso de transporte em caminhão betoneira, a mistura da água deve ser retardada até que o tempo que falta para a descarga seja o apropriado para a mistura.

3.2 Fatores Dependentes da Manipulação

3.2.1 Tipos de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto

Cada processo de mistura, de transporte, lançamento e adensamento, exige que a trabalhabilidade do concreto fique dentro de determinados limites, para que não haja segregação e possa ser realizada uma conveniente compactação. Uma mistura manual ou mecanizada, um transporte em carro de mão ou bomba, um lançamento com pás ou em calhas, um adensamento manual, vibratório, à vácuo ou centrifugado, exigem trabalhabilidade diferentes. Cumpre ressaltar não ser a influência desses fatores sempre no mesmo sentido, e isto assume particular importância quando se considera o conjunto de todos eles.

Como este trabalho trata particularmente das propriedades do concreto fresco, os detalhes da produção, transporte, lançamento e adensamento do concreto não são aqui apresentados. Constituem exceção, no entanto, aqueles fatos que, dependentes dos equipamentos utilizados, estão diretamente ligados a essas propriedades.

3.2.1.1 Mistura

No caso da mistura, o objetivo é obter um concreto homogêneo, para o que é importante utilizar o tempo de mistura adequado. O tempo de mistura de uma betoneira é aquele compreendido entre o momento em que se coloca o último componente e o fim da operação. Durante a mistura três ações importantes se efetivam:

- a) os componentes cimento, agregados, água e aditivos são intimamente misturados;
- b) os grãos graúdos e miúdos são limpos, umidificados e progressivamente revestidos de cimento pelos intensos atritos que se verificam no interior da betoneira durante a mistura; e,
- c) os referidos atritos ativam a ação química da água sobre o cimento, através de descolamentos das camadas da superfície dos grãos de cimento, pondo em contato com a água novas camadas mais ativas desses grãos, além de desfazerem suas arestas mais vivas tornando a sua superfície mais macia.

Essas ações, que têm uma grande influência sobre a qualidade do concreto, dependem da duração da mistura e da eficiência da betoneira. Os efeitos mencionados na alínea c) são de grande interesse para a trabalhabilidade do concreto. Quanto mais macia é a superfície e mais desbastadas as arestas dos grãos de cimento, melhor a trabalhabilidade. Quanto mais demorada a mistura, mais untosa e estável se torna a pasta e ainda menos sujeita à exsudação e à segregação.

Para obtenção de superfícies aparentes regulares e boa aparência é indispensável evitar segregação na mistura. A primeira medida a ser tomada para esse fim é aumentar a duração da mesma¹⁸.

O tempo de mistura está relacionado com o tipo de betoneira e com a sua capacidade. A *Tabela 1* apresenta recomendações nesse sentido.

TABELA 1 - Tempos de mistura mínimos (Cf. Refs. 19 e 20)

Capacidade de betoneira(m ³)	Tempo de mistura	
	ACI/ASTM C 94-89b	<i>US. Bureau of Reclamation</i>
	min:s	min:s
Até 0,8	1:00	1:30
1,5	1:15	1:30
2,3	1:30	2:00
3,0	1:45	2:30
3,8	2:00	2:45
4,6	2:15	3:00
7,6	3:15	-

3.2.1.2 Transporte e lançamento

A condição fundamental a que um sistema de transporte deve obedecer é a de não provocar a segregação, não permitir a perda de argamassa ou parte de cimento, nem promover a separação entre o agregado grosso e a argamassa²¹.

No caso de concreto produzido no local da obra, são utilizados para o transporte padiolas, carros de mão, caçambas e guias ou guindastes de torre, esteiras, planos inclinados, cabos aéreos ou bombeamento. Em qualquer dos casos a escolha da consistência adequada é indispensável para o êxito da operação.

O uso de concreto bombeado exige misturas com características especiais. De um modo geral, essas misturas não podem ser nem muito secas nem muito úmidas, assumindo a consistência um valor crítico. Quando o teor de água/mistura seca é inferior ao valor crítico, as partículas sólidas, em vez de se deslocarem longitudinalmente, exercem pressão nas paredes dos tubos. Quando, no entanto, o teor de água/mistura seca é apropriado, o atrito com as paredes dos tubos desenvolve-se apenas através de uma camada muito fina de argamassa, que funciona como lubrificante. Um valor mais alto do que o crítico, para o teor de água/mistura seca, determinaria a segregação.

Outro aspecto importante, a considerar nas misturas de concreto fresco para bombeamento, é o relativo à necessidade da presença de um teor de materiais mais finos que a areia, incluindo-se o cimento, que agem como coadjuvantes na lubrificação das paredes dos tubos.

Se, ao invés de produzido no local, o concreto for proveniente de uma usina, diz-se tratar de concreto dosado em central. Existem dois tipos de concreto dosado em central: no primeiro, a mistura é feita na usina e o concreto é, então, transportado em caminhão que dispõe de agitador capaz de, com seu movimento lento, evitar a segregação e o endurecimento indevido do concreto; no segundo tipo, embora a dosagem seja feita na usina, a mistura é realizada no próprio caminhão betoneira, no seu trajeto para a obra ou pouco antes da descarga. A distinção entre os dois tipos encontra-se, apenas, na diferença de velocidade do misturador; no primeiro é de 2 a 6 revoluções por minuto e no segundo de 4 a 16. O principal problema na produção do concreto dosado em central é a manutenção da trabalhabilidade requerida no momento do lançamento.

O lançamento do concreto deve ser feito de modo que não haja segregação e ainda que a argamassa se ponha em contato íntimo com o agregado graúdo, com as armaduras e quaisquer outras partes que devam ser

envolvidas. Ora, esses aspectos evidenciam a importância de uma consistência adequada para tal fim, além de cuidados minuciosos na colocação das fôrmas. Esses cuidados, na maioria das vezes, consistem na obediência a certas regras práticas apresentadas na maioria dos manuais de concreto.

3.2.1.3 Adensamento

Logo após o lançamento do concreto nas fôrmas, é indispensável torná-lo o mais compacto possível, provocando a saída do ar aprisionado no seu interior e facilitando a arrumação interna das partículas do agregado, imbricando-as umas nas outras²¹. Como mostrado na *Figura 1*, uma percentagem mínima de vazios pode acarretar uma redução de resistência considerável. É imprescindível, portanto, que sejam eliminados os vazios por meio de um adensamento conveniente. O adensamento pode ser manual ou vibratório.

O manual, utilizado em pequenas obras, é realizado com equipamentos mais rudimentares, tal como uma simples barra de aço, por exemplo. Quando se utilizam soquetes, submete-se a camada de concreto à choques repetidos. Neste caso é mais importante o número de golpes do que a energia de cada um, desde que essa energia ultrapasse um valor determinado²².

O processo de vibração produz uma distribuição de energia mecânica na massa do concreto, pois se opõe às ligações de contato, suprimindo o atrito interno, o que facilita o adensamento provocado pelo peso próprio dos componentes. Este sendo muito maior do que o do ar, permite que o ar seja expulso²².

Nessa análise de influência da vibração na consistência do concreto não pode ser esquecidos alguns aspectos salientados por *POPOVICS*⁴:

- a) quanto maior a diferença entre a massa específica do agregado graúdo e a argamassa e, ademais, mais úmido o concreto, maior a probabilidade de ocorrência de segregação durante a vibração;
- b) o adensamento por vibração, pode aumentar muito a resistência do concreto, através da efetiva remoção do ar do concreto fresco de consistência mais rígida; e,
- c) o concreto vibrado pode ter uma granulometria mais grossa do que um concreto adensado por um processo menos eficiente.

3.3 Fatores Dependentes das Condições do Projeto

3.3.1 Dimensões dos elementos estruturais

As dimensões dos elementos estruturais influem na trabalhabilidade do concreto em razão do efeito parede, no qual influem a dimensão máxima do agregado. Como se sabe, essa dimensão deverá, em princípio, ser a maior possível, desde que compatível com a menor dimensão da peça e o espaçamento das barras das armaduras. Para agregados da mesma natureza, à medida que se consideram dimensões maiores, é sempre possível, em igualdade de consistência e de relação água/cimento, obter-se uma composição granulométrica que resulte em concreto mais econômico, em virtude da quantidade de pasta necessária para preencher os vazios e envolver os grãos do agregado.

Essa assertiva, no entanto, exige uma solução de compromisso, ou seja, o concreto precisa manter-se homogêneo e os grãos maiores dos agregados devem estar totalmente envolvidos na argamassa⁷.

A NBR 6118 (antiga NB-1/78)²³, Norma Brasileira para Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, da ABNT, estabelece que a dimensão máxima característica do agregado, deverá ser menor que 1/4 da menor distância entre faces das fôrmas e 1/3 da espessura das lajes, como mostra a *Figura 4a*.

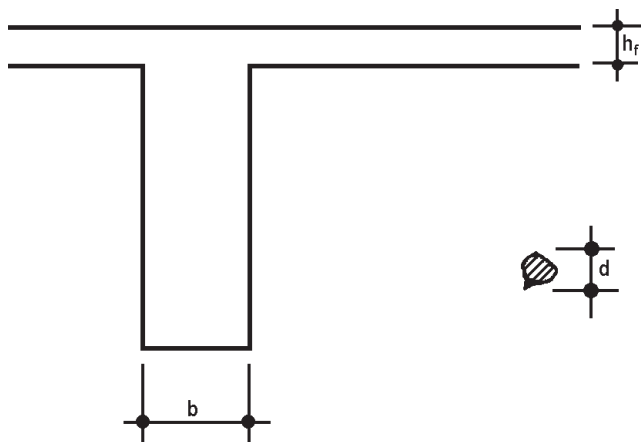
3.3.2 Afastamento das armaduras

Para atender às exigências de mesma natureza das referidas na seção 3.3.1, a NBR 6118 estabelece que nas vigas o espaço livre entre duas barras de armadura não deve ser menor que 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado, nas camadas horizontais, e 0,5 vezes a mesma dimensão, no plano vertical, como se vê na *Figura 4b*.

4 AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

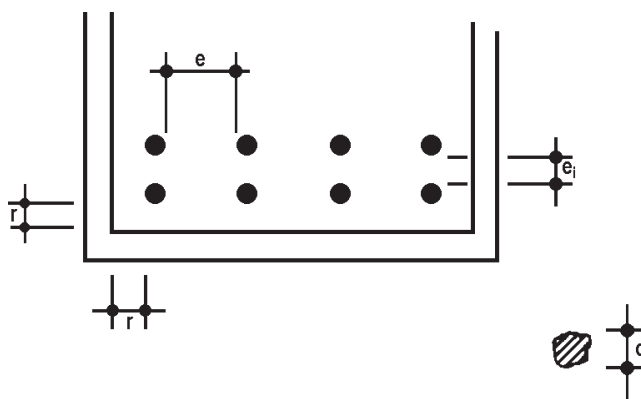
4.1 Classificação dos Ensaios

Conscientemente ou não, todos os pesquisadores que procuravam descobrir um método para medir a trabalhabilidade do concreto estavam, realmente, tentando medir as propriedades reológicas desse material, particularmente a consistência.



$d < 1/4b$ - vigas
 $d < 1/3h_f$ - lajes

a) Dimensões da peça



$d \leq 0,83 e$
 $d \leq 2,00 e_i$
 $r =$ recobrimento
 mínimo recomendado

b) Afastamento das armaduras

FIGURA 4 - Exigências da NBR 6118 (antiga NB-1) quanto à dimensão máxima dos agregados relacionados com as dimensões da peça e o afastamento das armaduras (Cf. Ref. 7)

De um modo geral, os métodos de medição da consistência baseiam-se nos seguintes fenômenos:

- a) deformação;
- b) penetração;
- c) compactação; e,
- d) escoamento.

Nenhuma correlação existe entre os diversos métodos relacionados com esses fenômenos, pois nenhum deles mede qualquer propriedade fundamental do concreto fresco. Todos, porém, são úteis para indicar a evolução de um parâmetro que influi nas propriedades do concreto (o teor de água na mistura, a dosagem na mistura etc.), quando os outros parâmetros são mantidos constantes²¹.

4.2 Ensaios Baseados na Deformação

4.2.1 Ensaios de abatimento

Num molde de chapa metálica, com forma de tronco de cone, de 20 cm de diâmetro na base, 10 cm no topo e 30 cm de altura, como se vê na *Figura 5*, apoiado numa superfície rígida, o concreto fresco é moldado em três camadas iguais, cada uma adensada, com 25 golpes, por uma barra de 16 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento, de acordo com a NBR 7223 (antiga MB-256).

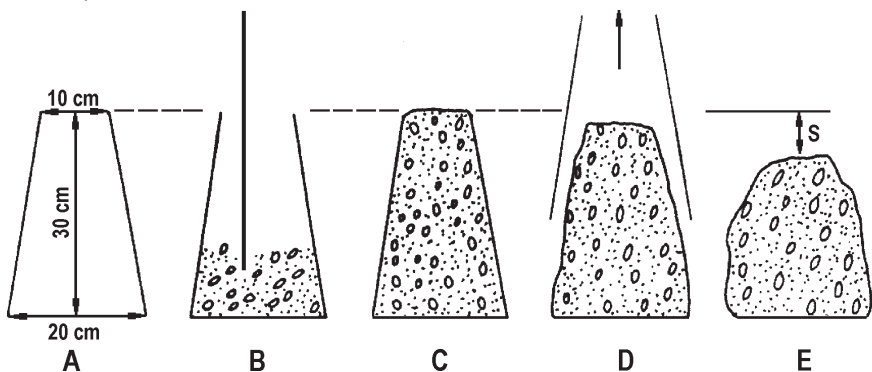


FIGURA 5 - Ensaio de abatimento (slump test) (Cf. Ref. 23)

Em seguida, o molde é retirado verticalmente, deixando o concreto sem suporte lateral. Sob a força da gravidade, a massa abate, mais ou menos simetricamente, aumentando seu diâmetro médio, enquanto sua altura diminui. Pode acontecer, porém, que haja certo abatimento com cisalhamento da parte superior ou, ainda, um colapso total. O abatimento ou *slump* corresponde à diferença entre a altura inicial de 30 cm e a altura após remoção do molde.

Existem três formas de abatimento como mostra a *Figura 6*. O primeiro é o abatimento verdadeiro, quando o concreto se abate uniforme e simetricamente. O segundo é conhecido como abatimento cortante, no qual uma das metades do cone de concreto desliza uma em relação a outra segundo um plano inclinado. O terceiro é conhecido como abatimento com desagregação. Geralmente, os abatimentos cortantes e com desagregação decorrem de concretos muito úmidos e pobres¹⁶.

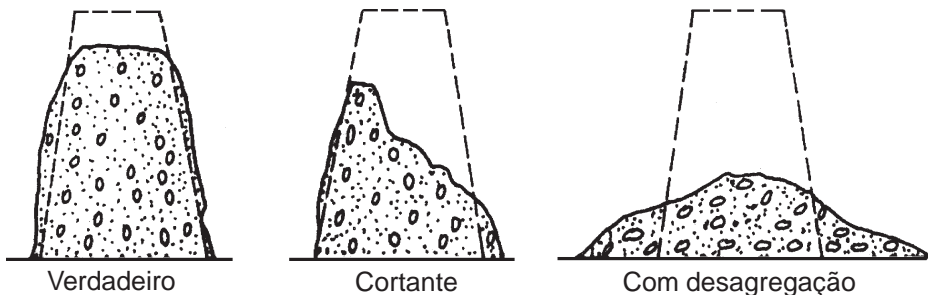


FIGURA 6 - Formas de abatimento (Cf. Ref. 17)

Uma melhor análise do método sugere que esse ensaio só seja propriamente aplicável a concretos que não cisalhem nem entrem em colapso¹.

Apesar dessas limitações, o ensaio de abatimento é de grande utilidade para controlar um concreto de *slump* conhecido. Uma variação no seu valor alerta o operador no sentido de corrigir a dosagem. Essa aplicação do ensaio de abatimento, bem como sua simplicidade, é responsável por seu largo emprego no controle tecnológico do concreto.

Nas mãos de um operador experiente, o ensaio de abatimento é de grande utilidade para determinar a variação horária ou diária dos materiais que estão alimentando a betoneira, particularmente a da água.

4.2.2 Ensaio de Powers

Este ensaio, além de promover uma deformação por choque, exerce uma outra ação sobre o material deformado, obrigando-o a mudar de forma. Para essa remoldagem, fenômeno que caracteriza o ensaio de Powers, é necessário o consumo de uma certa energia.

A parte principal do aparelho de Powers (Figura 7) é constituída por um recipiente cilíndrico, dentro do qual se encontra outro cilindro concêntrico, suspenso acima do fundo. Um cone de abatimento, próprio para o ensaio deste nome, serve para a moldagem do concreto a ser ensaiado. Retirado o cone de abatimento, um disco metálico pesando 1,9 kg é colocado no topo do concreto moldado. A mesa é, então, posta em funcionamento, num ritmo de uma queda por segundo, até que o fim da operação seja alcançado, quando o traço marcado na haste presa ao disco metálico atinja o traço de referência existente na guia. A essa altura, a forma do concreto mudou de um tronco de cone para um cilindro. O esforço requerido, para conseguir essa remoldagem, é expresso pelo número der golpes registrado.

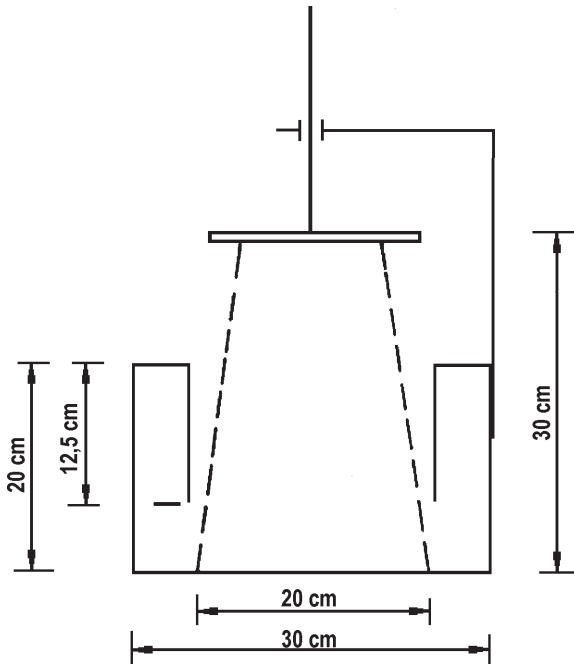


FIGURA 7 - Aparelho de remoldagem de Powers

O ensaio de *Powers* é eminentemente laboratorial, mas sua validade decorre do fato de que o esforço, para remoldagem, está estritamente ligado à consistência.

O ensaio de *Powers* foi modificado por *Wuerpel*, que substituiu a mesa de consistência por uma mesa vibratória. O número de segundos necessários à remoldagem passa a ser um índice de caracterização da consistência do concreto.

Este último ensaio prestou relevantes serviços à tecnologia brasileira do concreto, como equipamento básico utilizado por *PETRUCCI*²² para desenvolver o conhecido método de dosagem do Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul (ITERS). Com base nesse equipamento, foram conseguidas inúmeras curvas que indicam o melhor teor de areia para obtenção da consistência mais adequada a um determinado serviço (*Figura 8*).

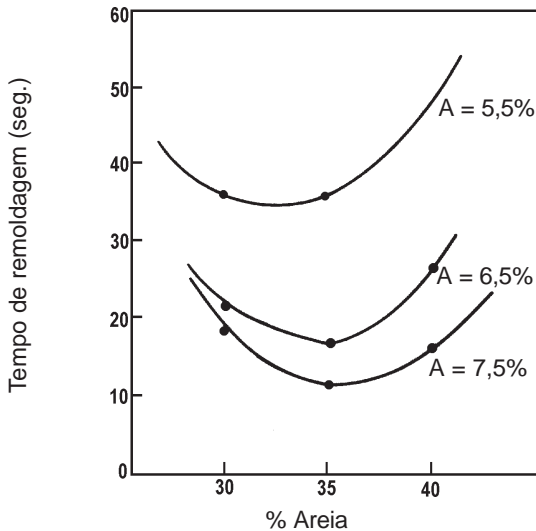


FIGURA 8 - Tempo de remoldagem de *Powers* para diferentes traços e teores de água/mistura seca (Cf. Ref 21)

4.2.3 Ensaio de VeBe

Este ensaio é um aperfeiçoamento do ensaio de *Powers*. Foi estudado por *V. Bahrner*, na Suécia, e ficou conhecido pelas iniciais de seu criador.

Resume-se na medida do tempo, em segundos (graus VeBe) necessários para que se verifique a completa remoldagem de um tronco de cone, moldado em forma idêntica à do ensaio de abatimento, sob a ação vibratória de uma mesa em que se apóia (Figura 9). A remoldagem é considerada completa quando a nata de cimento ocupar toda a superfície de uma placa de vidro que se apóia inicialmente no topo do tronco de cone de concreto e acompanha sua transformação em cilindro. Esse fenômeno pode ser observado visualmente, e se completa quando todas as cavidades na superfície desaparecerem.

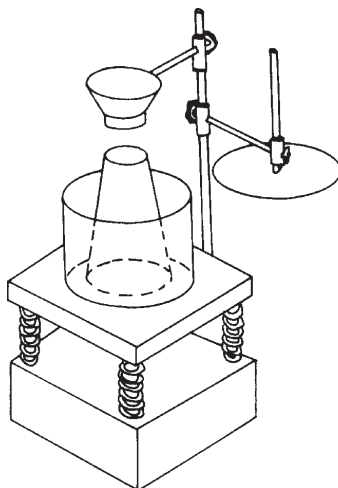
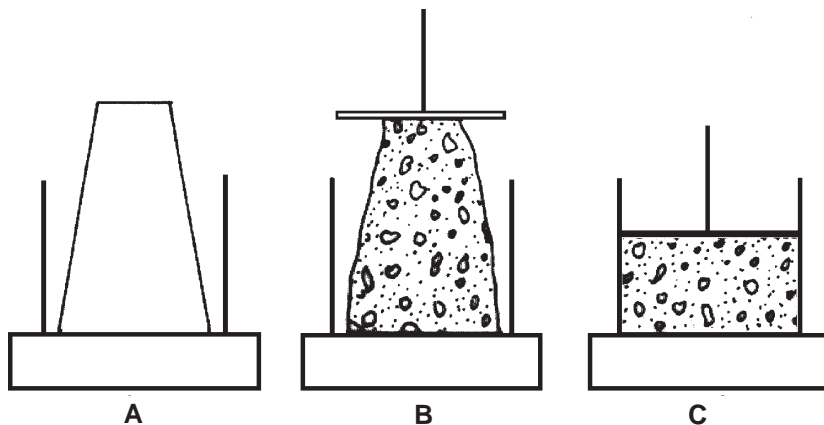


FIGURA 9 - Ensaio VeBe - esquema e aparelho (Cf. Ref. 9 e 22)

Uma correção julgada necessária por *BAHRNER*, que consistia na multiplicação do tempo, em segundos, pela relação entre os volumes, antes e depois da vibração, foi considerada sem significação em estudos posteriores sobre o ensaio²⁵.

Parece óbvio que esse tipo de aparelho é o mais apropriado para o estudo, em laboratório, de concretos a serem adensados por vibração. Sua aplicação no estudo de concretos a serem socados é questionável, pois não há uma relação entre a rigidez no estado plástico e a viscosidade aparente na fluidez. Contudo, uma mistura desprovida de suficiente capacidade para distorção no estado plástico, pode ter atenuada essa desvantagem no estado fluido¹.

4.2.4 Outros ensaios

Baseiam-se também na deformação o ensaio de fluidez normalizado pela *Deutscher Institut für Normung (DIN)* e o de *Lesage*, utilizado no *Laboratoires des Ponts et Chaussées (LPC)*, de Paris.

4.3 Ensaios Baseados na Penetração

Incluem-se neste grupo de ensaios a bola de *Kelly*, o de *Graf* e o *Humm*, que não têm aplicação conhecida no Brasil.

4.4 Ensaios Baseados na Compacidade

O mais importante destes ensaios é o normalizado pela *British Standards (BS)* e pelo *American Concrete Institute (ACI)* e é conhecido como ensaio do fator de compactação ou adensamento. Somente alguns laboratórios brasileiros o utiliza para fins de pesquisa.

Baseia-se no mesmo fenômeno o ensaio alemão devido a *Walz* e normalizado pela DIN 1048.

4.5 Ensaios Baseados no Escoamento

Estes ensaios consistem na medição do tempo de escoamento do concreto sob vibração, seja através de uma abertura de forma variada ou através de uma grelha, tentando simular uma armadura.

Convém lembrar que apenas medidas comparativas podem ser obtidas com esses procedimentos, não sendo possível a avaliação de uma viscosidade aparente, senão em casos muito raros.

Os ensaios de *Meynier Orth* e o do *Centre d'Essais des Structures (CES)* se incluem neste grupo.

4.6 Comparação dos Métodos

Cada método tem suas vantagens e seus inconvenientes e nenhum deles consegue captar a totalidade dos fenômenos que envolvem a consistência. Certos métodos são mais convenientes para os concretos relativamente moles, outros aos concretos rijos; alguns se prestam bem à utilização no canteiro, outros são unicamente utilizáveis no laboratório. A *Tabela 2* dá as diretrizes gerais sobre a utilização dos métodos de abatimento e *VeBe*²⁵.

TABELA 2 - Domínio de aplicação de alguns métodos e a medida da consistência

Métodos	Preparação			Domínios de consistência				
	No canteiro	Central	Lab.	Terra úmida	Rijas	Plast.	Moles	Liq.
Abatimento	++	+	+	-	++	++	+	-
<i>Vebe</i>	-	+	++	+	+	++	+	-

Legenda: ++ = muito conveniente
 + = utilizado
 - = pouco utilizado

Referências Bibliográficas

1. POWERS, T. C. *The properties of fresh concrete*. New York: John Wiley, 1968.
2. POPOVICS, S. *Concrete consistency and its prediction*. *Bulletin RILEM*, Paris, n. 31, p.235-252, juin. 1966.
3. TORRES, Ary F., & ROSMAN, C.E. *Método para dosagem racional do concreto*. São Paulo: ABCP, 1956.
4. POPOVICS, S. *Material aspects of concrete consolidated by vibration*. *Matériaux et Constructions*, Paris, v.5, n.27, p.143-150, May/June 1972.
5. RITCHIE, A. G. B. *The triaxial testing of fresh concrete*. *Magazine of Concrete Research*, London, v.14, n.40, p. 37-42, Mar. 1962.
6. GLANVILLE, W. H., & COLLINS, A.R.R., & MATTHEWS, D. *The grading of concrete*. London: Dept. of Scientific and Industrial Research, 1954. (Tech. Paper n. 5)
7. SOBRAL, Hernani Sávio. *Reologia e trabalhabilidade dos concretos*. São Paulo: ABCP, 1990. (ET-62)
8. NEWMAN, k. *The use of workability test for concrete mix design and quality control*. London: Imperial College of Science and Technology, 1960. (Research Report n.6)
9. NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Trad. Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1982.
10. TORRES, Ary F. *Introdução ao estudo da dosagem racional do concreto*. São Paulo: ABCP, 1955.
11. CUNHA, Ney Luna. *A inspeção do concreto no transporte e lançamento*. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO.(IBRACON). *Seminário sobre inspeção do concreto*, São Paulo, 6-10 julho 1981.

12. WALKER, S., & BLOEM, D. L. *Variations in portland cement*. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), Proc., Philadelphia, v. 58, p. 1009-1032, 1958.
13. POPOVICS, S. *Calculation of the water requirement of mortar and concrete*. *Matériaux et Constructions*, Paris, v. 13, n. 77, p.343-352, Sept./Oct. 1980.
14. SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT. *La consistance du béton*. *Bulletin du Ciment*, Wildegg, v. 35, n.18, p.1-6 juil. 1967.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Terminologia brasileira de materiais de pedra e agregados naturais; NBR 7225/93*. Rio de Janeiro, 1995.
16. REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS (RILEM). *Adjuvants; rapport final*. *Matériaux et Constructions*, Paris, v. 8 n. 48, p. 451-472, Nov./Dec. 1975.
17. MALHOTRA, V. M. *Trabajabilidad del concreto*. *Revista IMCYC*, México, D. F., v. 7, n. 39, p. 8-24, jul./ago. 1969.
18. SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT. *Durée du malaxage du béton*. *Bulletin du Ciment*, Wildegg, v. 45, n. 19, p. 1-6, juil. 1977.
19. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). *Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete; ACI 304R/89*. In _____. *Manual of concrete practice*. Detroit, 1995. v. 2.
20. ESTADOS UNIDOS. Dept. of the Interior. Bureau of Reclamation. *Concrete manual*. 8.ed.rev. Denver, 1981.
21. COUTINHO, A. de Sousa. *Fabrico e propriedades do betão*. Lisboa: LNEC, 1974. v.1.
22. PETRUCCI, Eládio G. *Concreto de cimento portland*. 2.ed. Porto Alegre: Globo, 1971.

23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto e execução de obras de concreto armado; NBR 6118/80*. Rio de Janeiro, 1995.
24. KEENE, P. W. *A preliminary examination of the vebe consistometer*. London: CCA, 1960. (TRA-343)
25. SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT. *Comme mesurer la consistance du béton*. *Bulletin du Ciment*, Wildegg, v. 42, n. 24, p. 1-8, fév. 1975.

ISBN 85-87024-43-4
9 788587 024435



Sede:

Av. Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré - 05347-902-São Paulo/SP

Tel.: (11) 3760-5300 - Fax: (11) 3760-5320

DCC 0800-0555776 - www.abcp.org.br

Escritórios Regionais:

Pernambuco - Tel: (81) 3092-7070 - Fax: (81) 3092-7074

Distrito Federal - Tel./Fax: (61) 3327-8768 e 3328-7776

Minas Gerais - Tel./Fax: (31) 3223-0721

Rio de Janeiro - Tel: (21) 2531-1990 - Fax: (21) 2531-2729

São Paulo - Tel: (11) 3760-5374 - Fax: (11) 3760-5320

Paraná - Tel: (41) 3353-7426 - Fax: (41) 3353-4707

Representações Regionais:

Ceará: - Tel./Fax: (85) 3261-2697

Bahia - Tel./Fax: (71) 3354-6947

Santa Catarina - Tel./Fax: (48) 3322-0470

Rio Grande do Sul - Tel./Fax: (51) 3395-3444

Mato Grosso e Mato Grosso do Sul - Tel./Fax: (67) 3327-2480

Espírito Santo - Tel./Fax: (27) 3314-3601