



MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO II

TECNOLOGIA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

- Aditivos;
- Concreto Auto-Adensável (CAA): Definições, e ensaios de aceitação.
- Concreto de Alto Desempenho (CAD): Definições.

NBR 11768 : 1992

Aditivos para concreto de cimento portland

Aditivos:

Produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

- **Aditivos que melhoram a trabalhabilidade**
- **Aditivos que modificam a pega do concreto**
- **Outros tipos de aditivos**

Aditivos que melhoram a trabalhabilidade

REDUTORES DE ÁGUA OU PLASTIFICANTES:

sem afetar a consistência, permitem a redução no consumo de água de uma determinada mistura de concreto:

- aumentando a trabalhabilidade mantendo a mesma resistência;
- aumentando a resistência e durabilidade reduzindo o fator água/cimento e mantendo a mesma trabalhabilidade;
- reduzindo o custo ao reduzir simultaneamente o conteúdo de cimento (e água) para uma mesma resistência e trabalhabilidade do concreto.

Efeitos:

- no abatimento (slump) inicial;
- no tempo de pega;
- na manutenção da trabalhabilidade.

Aditivos Redutores de água ou plastificantes

Grupos:

- Plastificante (1ª geração)
Redução a/c entre 6 e 12%
Ex.: Ácidos lignosulfonados
Ácidos carboxílicos hidroxilados
- Superplastificante (2ª geração)
Redução a/c entre 12 e 20%
Ex.: Sais de sulfonados de melamina
Condensados de naftaleno-formaldeído
- Superplastificante (3ª geração)
Redução a/c maior que 20%
Ex.: Policarboxilatos

NBR 11768 : 1992

Aditivos para concreto de cimento portland

Propriedades		Tipos de cimento									
		P	R	A	PR	PA	IAR	SP	SPR	SPA	
Redução de água (% mínima)		6	-	-	6	6	-	12	12	12	
Tempos de pega (h:min) (MB-2665)	início	no mínimo	-	+ 1:00	- 1:00	+ 1:00	± 1:00	-	-	+ 1:00	- 1:00
		não mais que	- 1:00 + 1:30	+ 3:30	- 3:30	+ 3:30	- 3:30	+ 1:15 - 1:30	- 1:00 + 1:30	+ 3:30	- 3:30
	fim	no mínimo	-	-	- 1:00	-	- 1:00	-	-	-	- 1:00
		não mais que	- 1:00 + 1:30	+ 3:30	-	+ 3:30	-	- 1:15 + 1:30	- 1:00 + 1:30	+ 3:30	-
Exsudação de água(%) (ASTM C 232)	no máximo	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	

LEGENDA:

- Aditivo plastificante (tipo P)
- Aditivo superplastificante (tipo SP)
- Aditivo retardador de pega (tipo R)
- Aditivo acelerador de pega (tipo A)

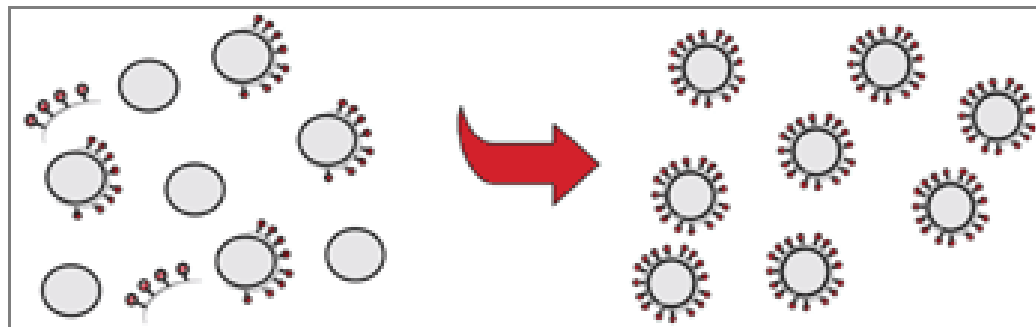
Aditivos redutores de água

SUPERPLASTIFICANTES

A ação química de um superplastificante normal consiste em 3 fases:

- Adsorção superficial
- Carga eletrostática sobre a partícula de cimento
- Dispersão

O aditivo envolve um sistema de partículas carregando-o com cargas de mesmo sinal. Por efeito da repulsão eletrostática, o superplastificante vai dispersar as partículas de cimento, fazendo com que se necessite de menos água para se atingir uma dada trabalhabilidade:



Superplastificantes à base de éter policarboxílico (3ª/última geração)

Apresenta resultados superiores aos superplastificantes à base de melamina e a base naftalenosulfonato (2ª geração):

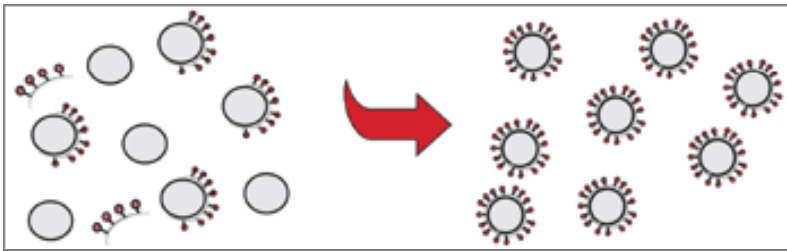
- Redução de água de até 45 % da água de amassamento
- Deixa o concreto coeso porém trabalhável
- Redução linear da água de amassamento
- Possibilidade de se trabalhar com fatores a/c menores que 0,30
- Minimiza a exsudação
- Efeito mínimo no tempo de pega do cimento
- Grande manutenção da plasticidade
- Compatibilidade com todas as bases químicas
- Aumento das resistências à compressão iniciais e finais
- Aumento da durabilidade estrutural
- Permite a execução de concretos auto-adensáveis com dosagens relativamente baixas.

Produto comercial mais conhecido: GLENIUM (Master Builders/BASF)

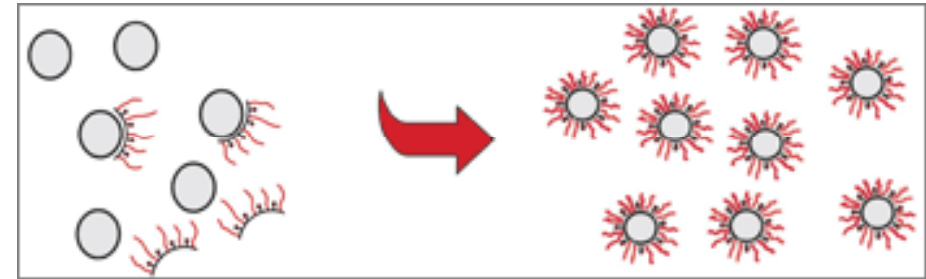
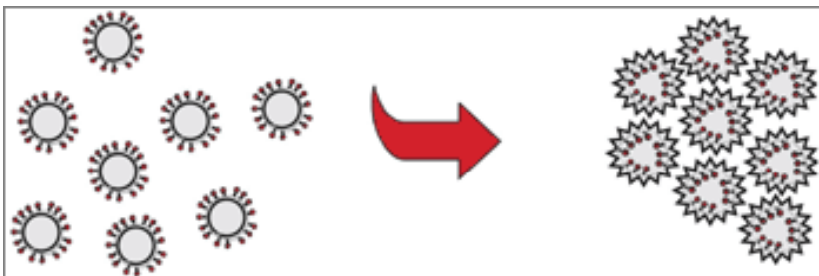
Ação do Superplastificante

Ação do policarboxilato sobre as partículas de cimento:

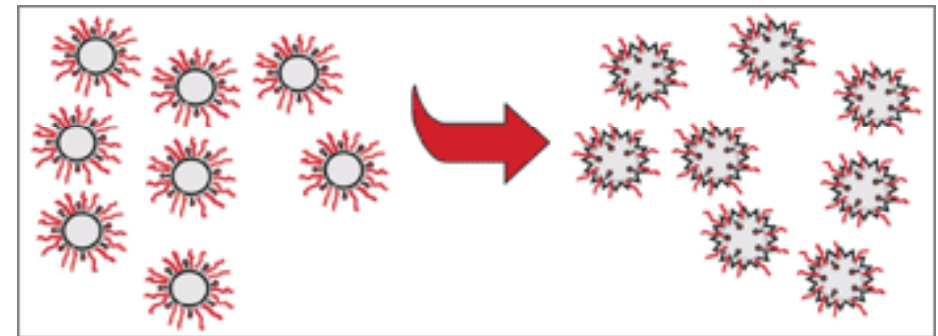
Ação de um superplastificante normal:



Com o início do processo de hidratação do cimento o efeito de dispersão eletrostática é minimizado, fazendo com que o concreto perca trabalhabilidade, necessitando de adição de água para manter a mesma trabalhabilidade.



o policarboxilato possui longas cadeias laterais que aumentam o espaço físico em um sistema de partículas de cimento, resultando em uma redução de água muito superior devido ao chamado efeito estérico



Manutenção da trabalhabilidade mesmo com o início do processo de hidratação do cimento (quando se perde o efeito da repulsão eletrostática)

Pasta com $a/c = 0,30$
Para f_{ck} de 60 MPa



Pasta com $a/c = 0,40$
Para f_{ck} de 40 MPa



Pasta com $a/c = 0,50$
Para f_{ck} de 30 MPa



Pasta com $a/c = 0,60$
Para f_{ck} de 20 MPa



Aditivos redutores de água SUPERPLASTIFICANTES

Efeito do Superplastificante (1%)



Concreto Auto-adensável (CAA)

Definição - NBR 15823-1:2010

Concreto que é capaz de fluir, **auto-adensar pelo seu peso próprio**, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.



Concreto fluido que pode ser moldado in loco sem o uso de vibradores para formar um produto livre de vazios e falhas.

Mehta e Monteiro (2008)

Concreto Auto-adensável (CAA)

Definições - NBR 15823-1:2010

Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco

VISCOSIDADE PLÁSTICA APARENTE DO CONCRETO

propriedade que está relacionada com a consistência da mistura (coesão) e que influencia na resistência (comportamento) do concreto ao escoamento.

Quanto maior a viscosidade do concreto, maior a sua resistência ao escoamento.

habilidade de preenchimento; fluidez

capacidade do concreto auto-adensável de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços

habilidade passante

capacidade do concreto auto-adensável de fluir dentro da forma, passando por entre os embutidos, sem obstrução do fluxo ou segregação



Concreto Auto-adensável (CAA)

Definições - NBR 15823-1:2010

RESISTÊNCIA À SEGREGAÇÃO

capacidade do concreto de permanecer com sua composição homogênea durante as etapas de transporte, lançamento e acabamento

segregação dinâmica

segregação que ocorre durante o lançamento enquanto o CAA flui dentro da forma

segregação estática

segregação associada aos fenômenos de sedimentação, que ocorre quando o concreto está em repouso dentro das formas

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-1:2010

ACEITAÇÃO para concreto dosado em central e recebido na obra:

Deve ser baseada **no mínimo** na comprovação das seguintes propriedades:

- **fluidez e viscosidade plástica aparente**, avaliadas pelos ensaios:
 - **espalhamento e t_{500}** - previstos na NBR 15823-2;
OU
 - **método do funil V** - previsto na NBR 15823-5;
- **habilidade passante**, avaliada pelos ensaios:
 - **utilização do anel J** - conforme a NBR 15823-3;
OU
 - **método da caixa L** - previsto na NBR 15823-4;

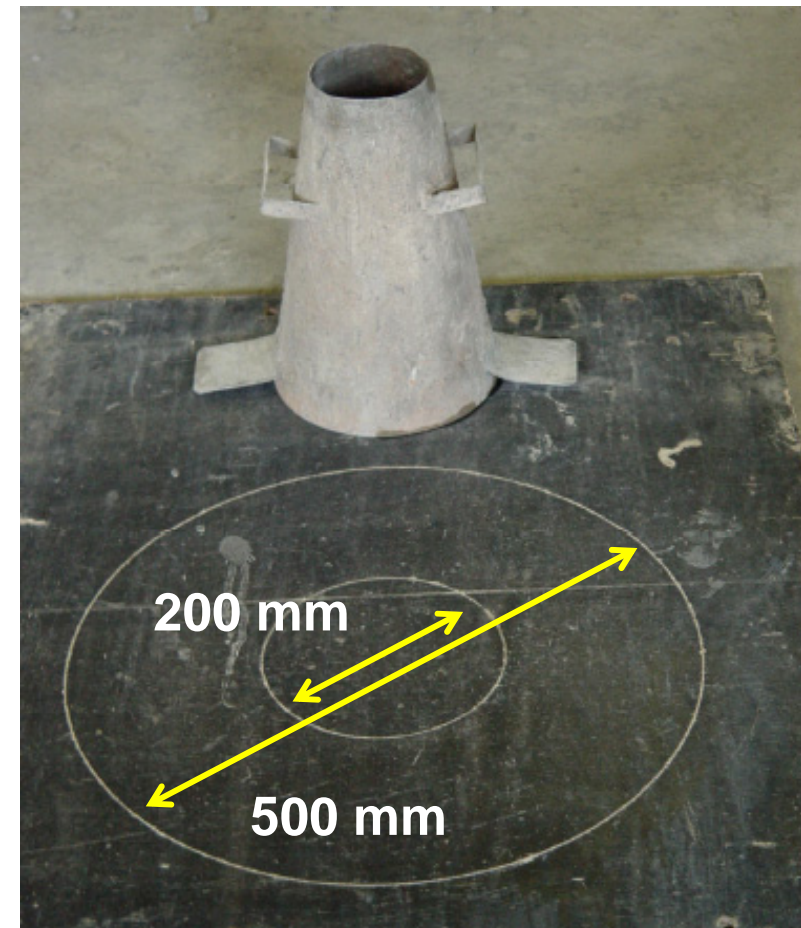
Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-2:2010

Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – **Método do cone de Abrams** (*“Slump Flow Test”*)

Prescreve o método de ensaio para determinação da fluidez do CAA, em fluxo livre, sob a ação de seu peso próprio, empregando-se o cone de Abrams.

- procedimento simples e rápido;
- permite avaliação visual (qualitativa) da segregação.



Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-2:2010 - Método do cone de Abrams

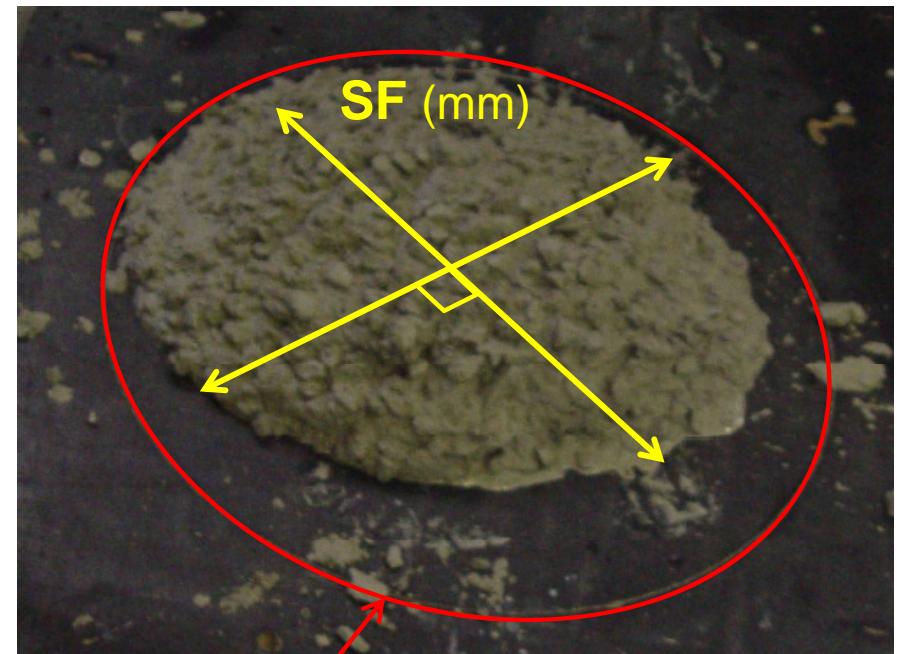
Resultados:

Espalhamento (SF)

O resultado do ensaio é o espalhamento (SF) da massa de concreto, obtido pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro realizadas em **milímetros** (mm).

Tempo de escoamento (t_{500})

O resultado do ensaio (t_{500}) é o intervalo de tempo, em **segundos**, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200 mm) até **cobrir totalmente** a marca circular de diâmetro 500 mm da placa de base.



t_{500} (s)

Fluxo no cone de Abrams

Slump Flow Test



concreto pouco fluido



concreto fluido sem segregação

Fluxo no cone de Abrams

Slump Flow Test



Ensaio de espalhamento indicando concreto segregado

Ref: Simonetti, C., 2008, "Análise Teórica e Experimental da Deformação Instantânea e Lenta de Concretos Auto-adensáveis", Dissertação de Mestrado, UFRGS.

Concreto Auto-adensável (CAA)

Classificação no estado fresco - NBR 15823-1:2010

Tabela 1 — Classes de espalhamento (*slump-flow*)

Classe	Espalhamento mm	Método de ensaio
SF1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF 2	660 a 750	
SF 3	760 a 850	

Tabela 2 — Classes de viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre)

Classe	t_{500} s	Método de ensaio
VS 1	≤ 2	ABNT NBR 15823-2
VS 2	> 2	

Concreto Auto-adensável (CAA)

Requisitos - NBR 15823-1:2010 – Anexo A

Tabela A.1 — Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre Concreto auto-adensável bombeado Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável	Lajes Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

Normalmente se obtém melhor qualidade de acabamento da superfície com concreto da classe SF3 para aplicações em geral, porém é mais difícil controlar a resistência à segregação do que se verifica no concreto de classe SF 2.

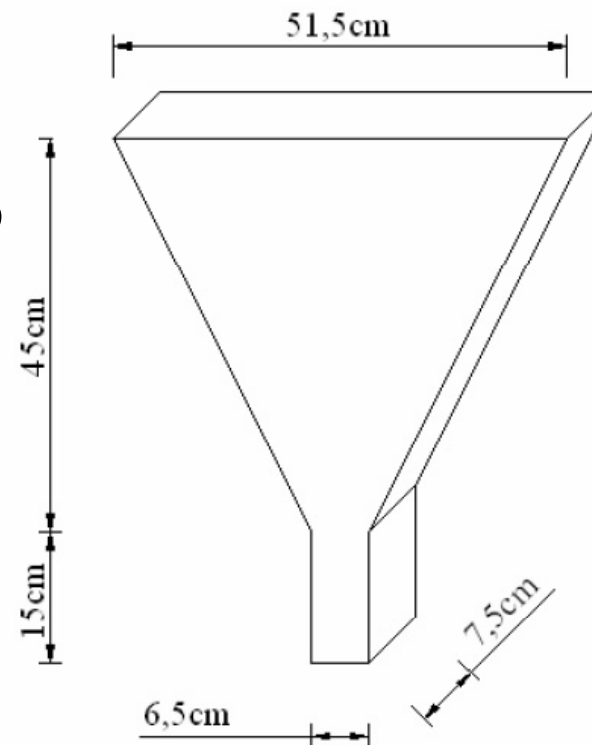
Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-5:2010

Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V (“V-funnel Test”)

Prescreve o ensaio para a determinação da viscosidade do CAA, pela medida do **tempo de escoamento** de uma massa de concreto através do funil V.

Este ensaio se aplica a CAA preparado com agregado graúdo de dimensão máxima característica menor ou igual a 20 mm.



Permite observar a facilidade do fluxo do concreto, sendo que quanto menor o tempo medido, maior a fluidez do concreto.

Concreto Auto-adensável (CAA)

Requisitos - NBR 15823-1:2010 – Anexo A

Tabela A.2 — Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação

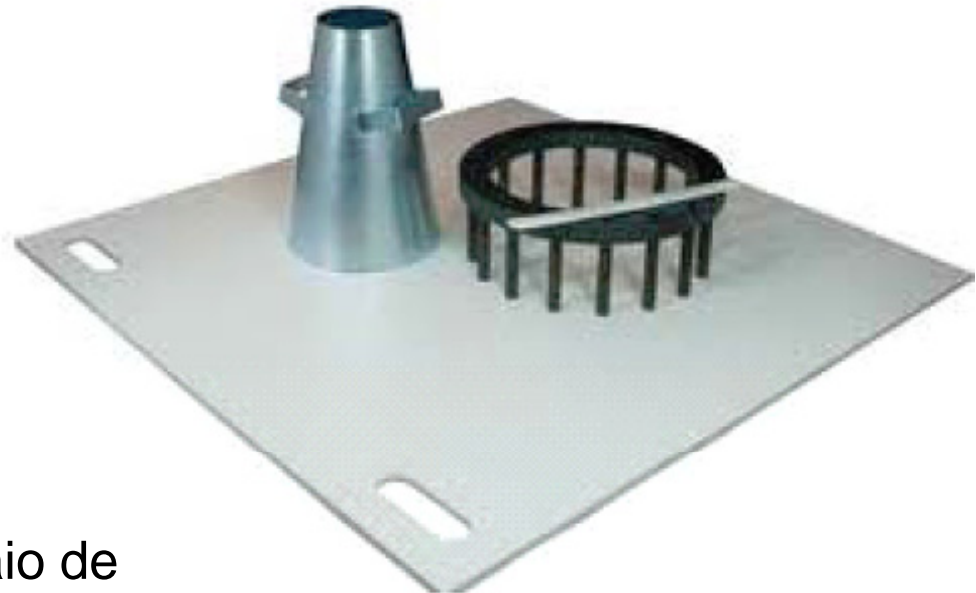
Classe de viscosidade plástica aparente	t_{500} s	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VS 1/ VF 1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VS 2/VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-3:2010

Parte 2: Determinação da habilidade passante – **Método do anel J** (“J-ring method”)

Prescreve o método de ensaio para determinação da **habilidade passante** do CAA, em fluxo livre, pelo anel J.



O ensaio consiste em realizar o ensaio de escoamento no tronco de cone posicionando o anel-J como obstrução.

Após o concreto ter cessado de escoar, mede-se a abertura média do espalhamento.

A diferença de abertura no espalhamento devida à restrição do anel-J indica a resistência do concreto ao bloqueio e é o principal resultado obtido pelo ensaio.

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-3:2010 - Método do anel J

Resultados:

Diâmetro final (d_F)

atingido pela massa de concreto, por meio da média aritmética de duas medidas (em milímetros) realizadas em direções perpendiculares;

Diferença entre o diâmetro médio **SF** do espalhamento obtido no ensaio previsto na NBR 15823-2 (sem o anel J) e neste ensaio (com o anel J);

Obstrução observada à passagem do concreto pelas barras do anel J.



Concreto Auto-adensável (CAA)

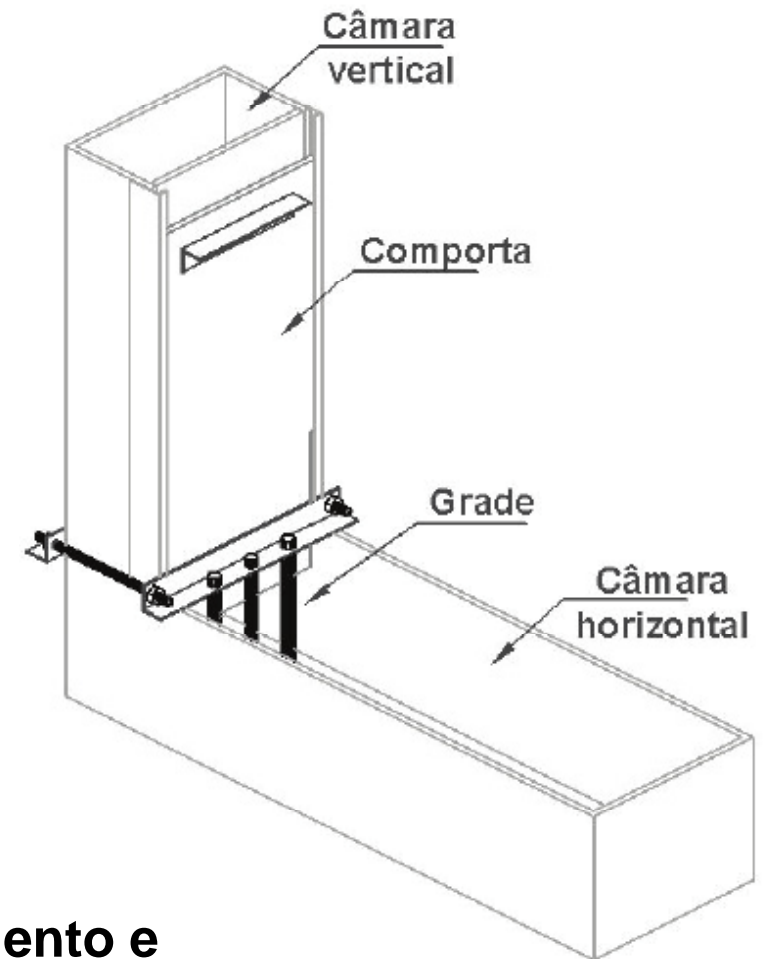
NBR 15823-4:2010

Parte 2: Determinação da habilidade passante – **Método da caixa L** (“L-box method”)

Prescreve o método de ensaio para determinação da **habilidade passante** do CAA, em fluxo **confinado**, usando a caixa L.

A câmara vertical da caixa L deve ser preenchida totalmente de forma uniforme e sem adensamento. Deve então ser efetuada a abertura da comporta de forma rápida, uniforme e sem interrupção, permitindo o escoamento do concreto para a câmara horizontal.

Permite observar a fluidez e tendência a bloqueamento e segregação de forma similar a uma concretagem real.



Concreto Auto-adensável (CAA)

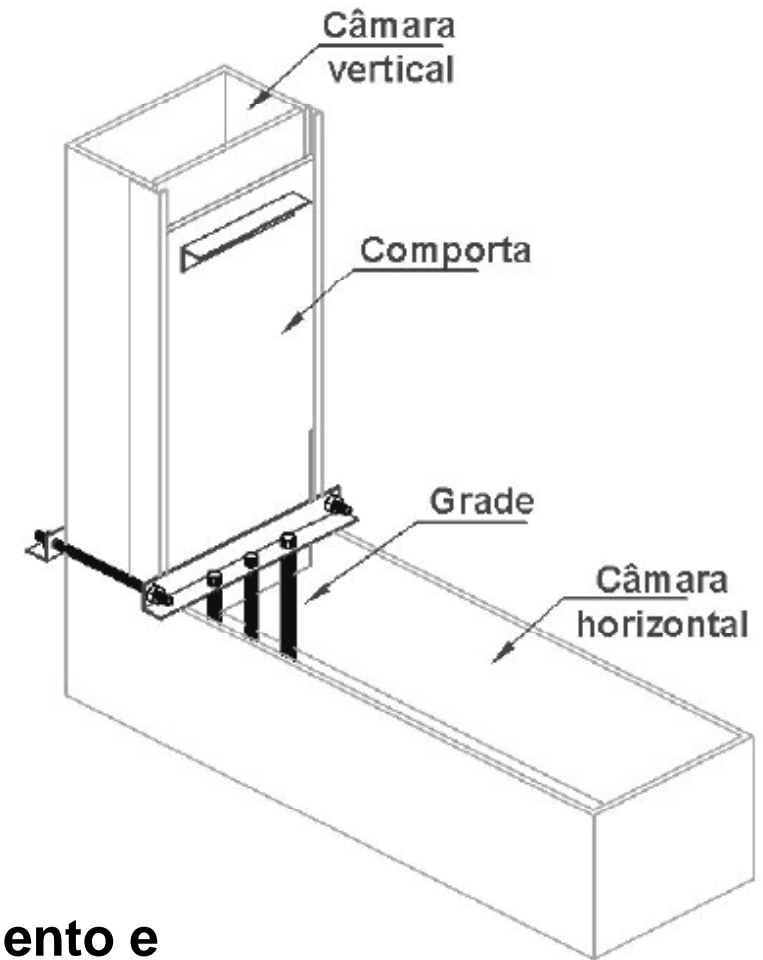
NBR 15823-4:2010

Parte 2: Determinação da habilidade passante – **Método da caixa L** (“L-box method”)

Prescreve o método de ensaio para determinação da **habilidade passante** do CAA, em fluxo **confinado**, usando a caixa L.

A câmara vertical da caixa L deve ser preenchida totalmente de forma uniforme e sem adensamento. Deve então ser efetuada a abertura da comporta de forma rápida, uniforme e sem interrupção, permitindo o escoamento do concreto para a câmara horizontal.

Permite observar a fluidez e tendência a bloqueamento e segregação de forma similar a uma concretagem real.



Concreto Auto-adensável (CAA)

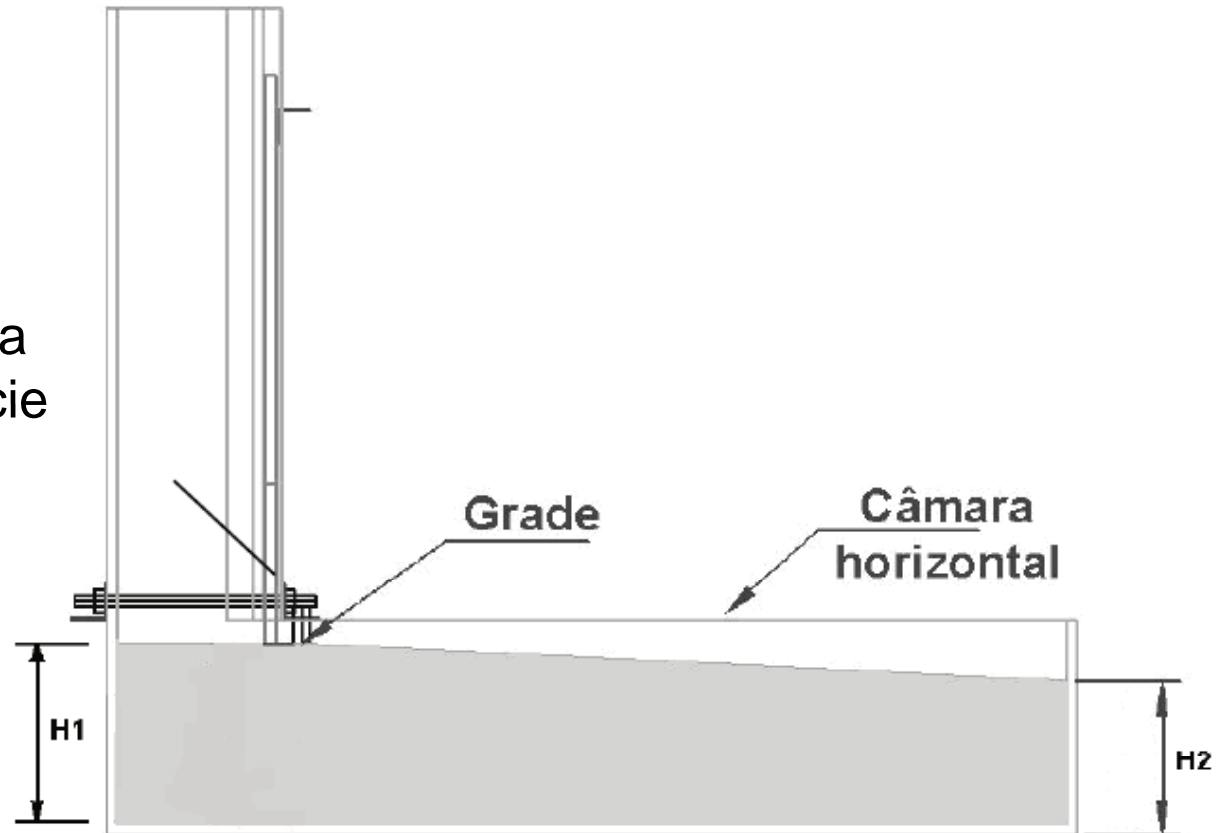
NBR 15823-4:2010 – Método da Caixa L

Resultados:

habilidade passante (HP)

cessado o escoamento, medir as alturas $H1$ e $H2$, e calcular a habilidade passante (HP), isto é, a razão entre as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal:

$$HP = \frac{H2}{H1}$$



Concreto Auto-adensável (CAA)

Classificação no estado fresco - NBR 15823-1:2010

Tabela 3 — Classes de habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)

Classe	Anel J mm	Método de ensaio
<i>PJ1</i>	0 a 25 com 16 barras de aço	ABNT NBR 15823-3
<i>PJ2</i>	25 a 50 com 16 barras de aço	

Tabela 4 — Classes de habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)

Classe	Caixa L (<i>H2/H1</i>)	Método de ensaio
<i>PL1</i>	≥ 0,80, com duas barras de aço	ABNT NBR 15823-4
<i>PL2</i>	≥ 0,80, com três barras de aço	

Concreto Auto-adensável (CAA)

Requisitos - NBR 15823-1:2010 – Anexo A

Tabela A.3 — Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação

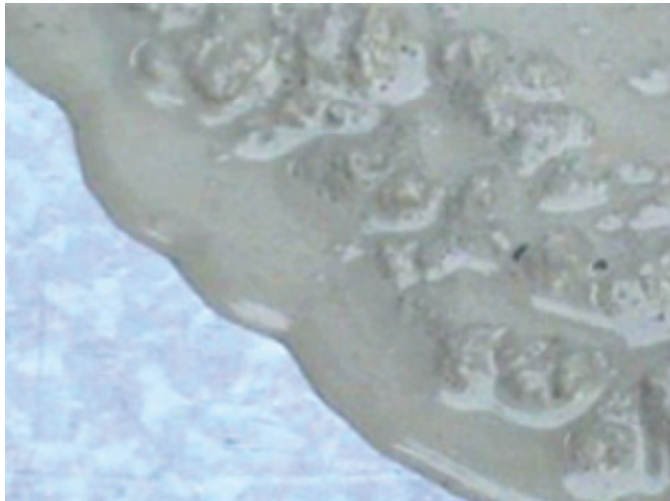
Classe de viscosidade plástica aparente	Anel <i>J</i> mm	Caixa <i>L</i> (<i>H2/H1</i>)	Aplicação	Exemplo
<i>PL 1/PJ 1</i>	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	≥ 0,80, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação
<i>PL 2/PJ 2</i>	0 a 25 mm com 16 barras de aço	≥ 0,80, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-moldados

Para estruturas complexas com espaçamentos de armadura menor que 60 mm, ensaios específicos podem ser necessários.

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-1:2010 – Resistência à Segregação

A resistência à segregação é fundamental para a homogeneidade e a qualidade do CAA e é particularmente importante em concretos auto-adensáveis de **maior fluidez e baixa viscosidade** (VS1 / VF1).



O CAA sofre **segregação dinâmica** durante o lançamento e segregação estática após o lançamento.

A **segregação estática** é mais danosa em elementos estruturais altos, mas também em lajes pouco espessas, podendo levar a defeitos como fissuração e enfraquecimento da superfície.

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-6:2010

Parte 6: Determinação da resistência à segregação — Método da coluna de segregação (“Column segregation test”)

Prescreve o ensaio para determinação da resistência à segregação do CAA, pela **diferença das massas** de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

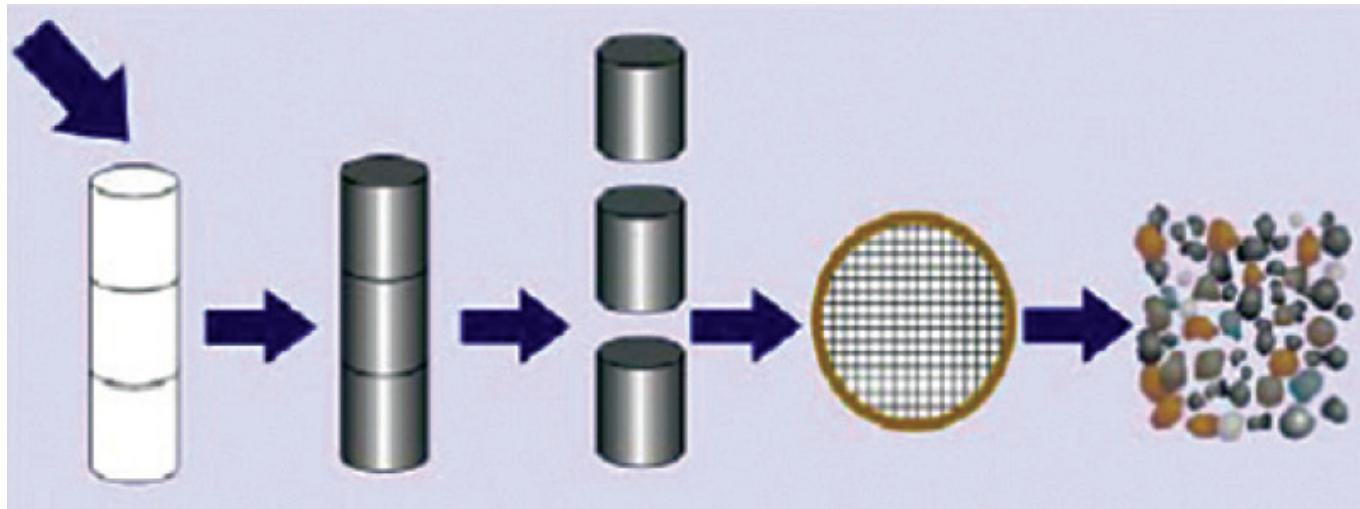
Este método de ensaio não é aplicável a concreto auto-adensável contendo agregado leve ou fibras.



Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-6:2010 – Ensaio da coluna de segregação

Após a moldagem da coluna, devem ser retiradas porções de concreto do topo e da base com o auxílio de uma chapa metálica.



Cada amostra deve ser lavada individualmente sobre uma peneira com abertura de malha de 5 mm, de forma a remover totalmente a argamassa, limpando os agregados graúdos.

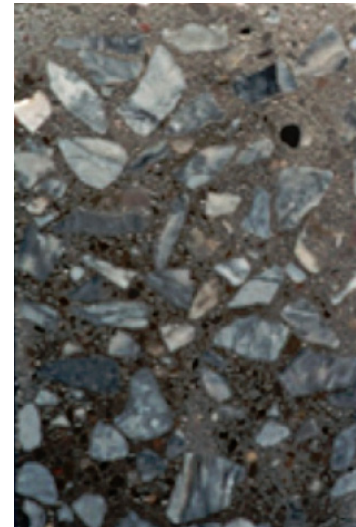
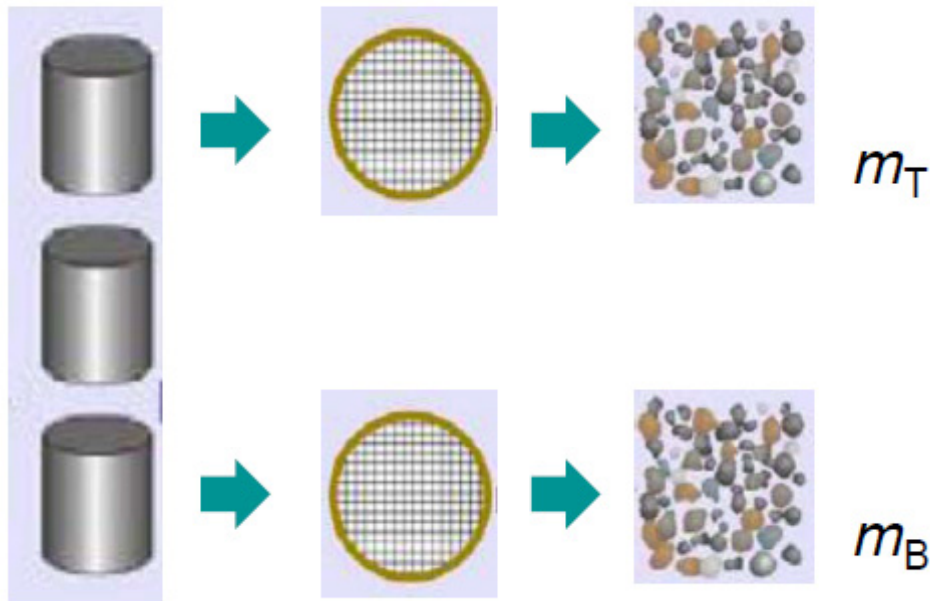
Os agregados graúdos devem ser submetidos a uma secagem superficial, com utilização de pano ou papel absorvente (condição saturado superfície seca, SSS) e em seguida devem ser pesados, obtendo-se as massas m_B e m_T para cada amostra.

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-6:2010 – Ensaio da coluna de segregação

Resultado:

Resistência à segregação do concreto (SR), expressa em porcentagem (%):



$$SR = \frac{2(m_B - m_T)}{m_B + m_T} 100$$

Onde:

- SR é índice de resistência à segregação
- m_B é a massa dos agregados da base
- m_T é a massa dos agregados do topo

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-1:2010 – Resistência à Segregação

Tabela A.4 — Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação

Classe de resistência à segregação	Coluna de segregação %	Distância a ser percorrida m	Espaçamento entre armaduras mm	Exemplo
SR 1	≤ 20	< 5	> 80	Lajes de pequena espessura Estruturas convencionais de pouca complexidade
SR 2	≤ 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas
		< 5	< 80	Pilares, paredes e elementos estruturais complexos Elementos pré-moldados

NOTA 1 SR 2 ou um valor-limite mais rigoroso pode ser especificado se a resistência ou a qualidade da superfície for particularmente crítica

NOTA 2 Quando a distância a ser percorrida pelo concreto for maior que 5 m e o espaçamento inferior a 80 mm, deve ser especificado um valor de SR menor que 10 %.

A classe SR1 atende à maioria das aplicações.

Concreto Auto-adensável (CAA)

NBR 15823-1:2010

Freqüência dos ensaios de aceitação:

- O espalhamento do concreto deve ser determinado **a cada betonada**.
- A habilidade passante pelo anel J deve ser determinada no mínimo a cada **30m³** ou a **cada jornada de trabalho**, o que ocorrer primeiro.
- Outros ensaios, quando exigidos, devem ter sua freqüência de realização estabelecida em comum acordo entre as partes.

Concreto Auto-adensável (CAA)

Indicação das classes de CAA para diferentes aplicações

Viscosidade	Espalhamento			Resistência à segregação / habilidade passante
	SF1	SF2	SF3	
VS2 VF2	Rampas			Especifique habilidade passante para SF1 e SF2
VS1 ou VS2 VF1 ou VF2 ou um valor especificado	Paredes e pilares			Especifique SR para SF3
VS1 VF1	Pisos e lajes			Especifique SR para SF2 e SF3

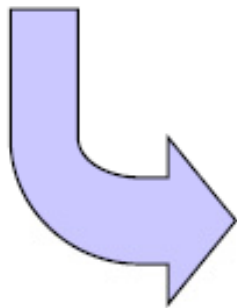
Alguns princípios básicos (estado fresco):

- Para se conseguir elevada fluidez, a pasta do concreto deve lubrificar e espaçar adequadamente os agregados, de forma que o atrito interno entre os mesmos não comprometa a capacidade do concreto de escoar
- Tão importante quanto a fluidez, é a sua manutenção durante o tempo necessário para a aplicação do CAA
- Para que o CAA apresente resistência à segregação dinâmica, a pasta deve ter viscosidade suficientemente elevada, a fim de manter os agregados em suspensão
- Para aumentar a retenção de água e a viscosidade da mistura, empregam-se mais finos no CAA do que no concreto convencional
- as viscosidades da pasta e da argamassa devem ser suficientes para que o concreto escoe homoganeamente através das restrições, com coesão.

Dosagem

Métodos utilizam as seguintes estratégias:

- Preenchimento dos espaços entre os agregados
- Controle da segregação – empuxo
- Incorporação de agregados nas fases menores



Exemplos:

Método de Okamura (Japão)

Método Repette-Melo (UFSC-Brasil)

Método Repette-Melo (UFSC-Brasil)

- Desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC;
- Etapas básicas:
 - Pasta: incorporam-se partículas finas à mistura cimento-água (relação água/cimento para a resistência desejada) no teor necessário para que não haja exsudação e segregação
 - Argamassa: na pasta, incorporam-se os agregados miúdos obtendo-se a relação agregado miúdo/argamassa e o teor de aditivo superplastificante, definidos para que a argamassa atenda aos requisitos de espalhamento e escoamento no funil V (de argamassa).
 - Concreto: a definição da relação agregado graúdo/concreto e o teor de superplastificante são obtidos por ensaios no concreto, nos ensaios de espalhamento, funil V e caixa L.

Valores típicos:

- Não há restrições para os teores dos materiais componentes do CAA.
- Para CAA produzidos com a incorporação de finos e de materiais comumente empregados no concreto convencional, tem-se, em geral:
 - teor de cimento entre 350 a 450 kg/m³;
 - incorporação de partículas finas entre 150 e 250kg/m³;
 - relação água/finos (em volume) entre 0,8 e 1,10;
 - volume de agregado miúdo na fração de argamassa entre 35% e 50%; e
 - volume de agregado graúdo no concreto entre 25 e 35%.

Concreto de Alto Desempenho (CAD)

HPC- High Performance Concrete

Misturas de concreto que possuem as três propriedades a seguir:

- alta trabalhabilidade;
- alta resistência;
- alta durabilidade.

Mehta e Aitcin(1990)

É um concreto que possui relação água /cimento menor que 0,4.

Aitcin(2000)

Concreto que atende uma combinação especial entre desempenho e requisitos de uniformidade que não pode ser atingida sempre rotineiramente com o uso de componentes convencionais e práticas normais de mistura, lançamento e cura.

ACI (1990)