

Escolha de materiais e procedimentos construtivos adequados para paredes de concreto aparente

Choosing appropriate materials and construction procedures for apparent concrete walls

Grazielle Ribeiro Vicente (1); Selmo Chapira Kuperman (2); Eduardo Issamu Funahashi Jr. (3); Edipo Farias (4); Shirley Maeda (5)

(1) Engenheira Civil, Desek Ltda., grazielle.desek@gmail.com

(2) Diretor, Desek Ltda., selmo@desek.com.br

(3) Engenheiro Civil, Desek Ltda., eduardo.desek@gmail.com

(4) Arquiteta Porte Engenharia e Urbanismo, shirleymaeda@porte.com.br

(5) Engenheiro Civil, Porte Engenharia e Urbanismo, edipo@porte.com.br

Av. Nove de Julho, 3229, cj. 1511 – Jardim Paulista, São Paulo, SP

Resumo

As paredes de concreto são estruturas esbeltas que podem possuir função estrutural e, por este motivo precisam ser executadas adequadamente, com materiais de boa qualidade e que atendam às exigências de projeto. O fato de ser uma estrutura aparente exige ainda maiores cuidados, pois pelo fato de não haver revestimento, que é uma proteção da estrutura, devem ser adotados procedimentos a fim de reduzir a entrada de agentes agressivos que podem comprometer a sua segurança e durabilidade.

No caso do edifício Interprime a consultoria para o projeto e construção de paredes de concreto aparente teve como objetivos definir os componentes do concreto, acompanhar a sua dosagem, estabelecer os procedimentos adequados de controle tecnológico, as práticas construtivas, principalmente com relação aos tratamentos das juntas de concretagem, lançamento, adensamento e acabamento do concreto. Este trabalho apresenta as principais diretrizes referentes aos materiais, técnicas e metodologias relativas às estruturas de concreto aparente. Apresenta informações sobre os materiais constituintes do concreto, formas, armaduras, transporte e lançamento do concreto, procedimentos construtivos, controle de qualidade, cura e proteção das paredes.

Conclui-se através deste projeto que é possível minimizar os problemas construtivos em estruturas de concreto aparente, desde que sejam feitos estudos preliminares, ou seja, execução de protótipos a fim de estudar os materiais e os procedimentos adequados, que atendam às exigências da obra e que melhorem a qualidade do produto final.

Palavra-Chave: concreto aparente, parede de concreto, dosagem, controle tecnológico, retração.

Abstract

Concrete walls are slim structures that can sometimes be load bearing with structural function and, therefore, need to be properly built with good materials and adequate design requirements. Exposed structures require more care because the fact that there is no rendering, which is a protection for the structure, procedures should be adopted to reduce the entry of aggressive agents that could compromise their safety and durability.

In the case of the Interprime building the consultancy aimed the design and construction of apparent concrete walls, defining concrete components, monitoring the mix design, establishing appropriate technology control procedures and construction practices, particularly with respect to treatment of concrete joints, casting, consolidation and finishing the concrete. This paper presents the main guidelines for the materials, techniques and methodologies for apparent concrete structures. It provides information about materials for concrete, formworks, reinforced steel, concrete transportation and placement, construction procedures, quality control, curing and protection of the walls.

Based on this job the conclusion is that it is possible to minimize constructive problems in concrete structures if preliminary studies are performed such as construction of prototypes to evaluate the appropriate materials and procedures that can meet work requirements and improve the quality of the final product.

Keywords: exposed concrete; concrete wall; mix design; technology control; shrinkage

1 Introdução

Este trabalho apresenta os procedimentos construtivos e materiais utilizados na construção das paredes de concreto aparente do edifício Interprime, da empresa Porte Engenharia e Urbanismo, localizado no bairro Anália Franco, em São Paulo.

Inicialmente foi feito o desenvolvimento e estudo de dosagem do concreto estrutural aparente com uso de adições e aditivos especiais para a aplicação na estrutura, junto ao fornecedor de concreto. Durante este desenvolvimento foram escolhidos os materiais mais adequados (cimento, agregados graúdos e miúdos, adições e aditivos) para atender às especificações do projeto quanto à fluidez, resistência mecânica, durabilidade e vida útil do concreto.

Após a definição do traço foi construído um protótipo para avaliação da qualidade do concreto fresco, da metodologia construtiva (lançamento, adensamento, cura, etc.) e do aspecto visual do concreto endurecido, principalmente com relação à qualidade do acabamento final. Durante os testes realizados em obra foram verificados alguns problemas executivos que foram corrigidos quando da construção definitiva das paredes de concreto. O protótipo foi importante para auxiliar na tomada de decisões e para obter melhores resultados na estrutura construída.

2 Informações sobre o projeto

A documentação do projeto indicava que o concreto deveria apresentar resistência característica à compressão de pelo menos 35MPa aos 28 dias de idade. De acordo com o projeto, as formas poderiam ser retiradas 3 dias após a concretagem, se o módulo de elasticidade secante do concreto atingisse o valor de $E_{cs} \geq 24 \text{GPa}$ e a resistência à compressão fosse $f_{cj} \geq 25 \text{MPa}$.

As paredes têm cerca de 20 cm de espessura e altura variável de 12 a 15 metros. A área total das paredes é de aproximadamente 600m², com cerca de 1000 m³ de concreto. Como a espessura das paredes dificultava a colocação de vibradores de imersão no concreto, verificou-se a necessidade de se utilizar concreto auto-adensável, com o objetivo de obter um produto final de melhor qualidade, reduzindo a possibilidade de aparecimento de bicheiras e, conseqüentemente, garantindo maior durabilidade e resistência ao concreto, além de melhorar o aspecto visual da estrutura.

2.1 Dosagem experimental do concreto auto-adensável

A dosagem foi previamente testada e aprovada; para isto antes do início da concretagem foram realizados ensaios com os materiais empregados e fornecida a dosagem do concreto, bem como as curvas de evolução da resistência à compressão até os 28 dias de idade e as características de trabalhabilidade e exsudação.

As principais características da dosagem do concreto auto-adensável foram:

- a) Abatimento inicial de 5 ± 1 cm;
- b) Concreto com classe de espalhamento (*Slump Flow Test*) SF2 (660 mm a 750 mm). Obs. Após o primeiro teste realizado no protótipo, a classe de espalhamento foi alterada para SF3 (760 mm a 850 mm);
- c) Traço com o menor consumo de água possível ($a/c \leq 0,47$);
- d) Traço com menor consumo de cimento considerando $f_{ck}=35\text{MPa}$;
- e) Utilização de agregado graúdo compatível com as dimensões da peça (no máximo brita 1, $D_{m\acute{a}x}=19$ mm);
- f) Adição de sílica ativa com teor de 6%;
- g) Adição de aditivo compensador de retração de acordo com a especificação do fabricante (10 kg/m^3 em relação ao volume de concreto);

2.2 Procedimentos construtivos

As formas foram feitas para assegurar o nivelamento, alinhamento e contenção do concreto fresco e foram fixadas de maneira a não se movimentarem quando do lançamento do concreto. As formas eram de madeira e possuíam ranhuras, pois o projeto arquitetônico da fachada do prédio apresenta o aspecto de chapas de madeira, como mostra a Figura 1. Durante a execução do protótipo verificou-se que havia a necessidade de aumentar as ranhuras das formas para obter um aspecto mais próximo ao do projeto.



Figura 1 – Vista geral do projeto arquitetônico

Como a concretagem foi dividida em várias etapas, as formas foram dimensionadas de tal maneira que possibilitassem o tratamento das juntas de concretagem através de

realização do corte verde do concreto, para garantir a aderência entre os vários trechos de concretagem.

Entre duas concretagens subsequentes, foi feito o tratamento da junta mediante corte verde, para que não aparecessem juntas frias. Esta prática consiste no jateamento de água a uma pressão equivalente à da rede pública (normalmente cerca de 0,8MPa) na face do concreto que recebeu o concreto novo, imediatamente após o final de pega, de modo a remover a pasta de cimento que ali se encontra. Após a realização deste procedimento toda a água é removida para o lançamento do concreto fresco. Outra alternativa seria a utilização de retardador de superfície que é aplicado através de pulverizador sobre a junta em geral após 1 hora depois do fim da concretagem, dependendo da especificação do fabricante, e após 24 horas esta região deve ser lavada com água. Caso fosse criada uma junta fria, a recomendação era de tratar a junta através de apicoamento manual ou através de rompedor mecânico seguido de hidrojateamento.

A cura com água do concreto deveria iniciar logo após a retirada das formas e ser mantida por, no mínimo, 7 dias, através de aspersão de água por toda a área da parede, que deveria manter-se constantemente úmida neste período. Outra alternativa seria de executar a cura mediante a colocação de tubulação plástica perfurada na parte superior da parede de concreto e deixar escorrer água constantemente quando da retirada das formas. O tempo de duração da cura com água é de grande importância, principalmente quando são utilizadas adições ao concreto como sílica ativa não só para melhorar a hidratação do cimento como também para reduzir a retração por secagem (causadora potencial de fissuração).

A utilização de cura química foi descartada por conta das dificuldades de retirada da película de cura e da possibilidade de apresentar manchas ao concreto aparente da fachada.

As superfícies das fôrmas em contato com o concreto, se deixadas no lugar durante o período de cura, deveriam ser mantidas molhadas, de modo a conservar a superfície do concreto novo tão úmida quanto possível durante todo o tempo de cura. As formas protegem o concreto da ação dos ventos e minimizam perda de água do concreto por evaporação diminuindo a probabilidade do aparecimento de fissuras de retração.

Com o objetivo de minimizar as bolhas na superfície do concreto das paredes foi recomendada a colocação de geotêxtil na forma. Durante a construção do protótipo foi utilizada esta solução, porém apesar de resultar em uma superfície sem bolhas e quase perfeita verificou-se a dificuldade de retirar o geotêxtil da superfície do concreto endurecido, como mostra a Figura 2 e decidiu-se não utilizar esta solução.



Figura 2 – Dificuldade para retirar o geotêxtil da superfície do concreto

2.3 Controle tecnológico

O recebimento do concreto foi realizado com os procedimentos de praxe, ou seja, verificação da nota fiscal, conferência dos dados nominais do traço (relação de materiais em massa, consumo de cimento, tipo de cimento, relação água-cimento, etc.). Além disto, o controle do concreto fornecido foi feito por amostragem total, ou seja, todos os caminhões-betoneira foram amostrados conforme especificado pelas normas brasileiras.

Foram realizados alguns ensaios de aceitação provisória conforme determinação da norma NBR 12655, da ABNT. Os ensaios foram:

- a) Amostragem do concreto fresco de todos os caminhões-betoneira;
- b) Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump* Inicial) de todos os caminhões-betoneira;
- c) Determinação do espalhamento do concreto (*Slump Flow Test*) de todos os caminhões betoneira;
- d) Determinação da habilidade passante de todos os caminhões-betoneira; Anel J – Classe de espalhamento PL2 (0 a 25mm com 16 barras de aço);
- e) Determinação da classe de viscosidade aparente de todos os caminhões-betoneira; t500; Classe de viscosidade VS2;
- f) Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto, sendo 2 corpos de prova para cada idade, para ruptura à compressão axial pelo menos aos 3, 7, 28, 56 e 63 (de todos os caminhões-betoneira); Total de 10 corpos de prova;
- g) Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto, sendo 3 corpos de prova para cada idade, para ensaio de módulo de elasticidade secante ao menos aos 7 e 28 dias de idade para 01 caminhão betoneira; Total de 06 corpos de prova;
- h) Determinação do ar incorporado e massa específica do concreto de todos os caminhões-betoneira.

O caminhão betoneira somente poderia ser liberado para o seu local de lançamento após a realização destes ensaios de aceitação do concreto.

Para que o concreto aparente possua uma coloração homogênea são necessários alguns cuidados principalmente com relação à dosagem desenvolvida e com relação aos materiais empregados, tais como:

- Sempre manter o mesmo fator água-cimento durante todo o lançamento;
- Manter a mesma proporção dos materiais e mesmos fornecedores para toda estrutura da fachada da parede de concreto;
- Não alterar o fornecedor de concreto durante o período de consumo de concreto pela obra. Deve ser mantido o mesmo tipo de cimento e de fornecedores de agregados, adições e aditivos.
- O processo de cura deve ser realizado em todas as paredes e de forma homogênea;
- Deve ser mantido o mesmo fabricante e proporção de desmoldante aplicado na região interna das formas;
- As formas devem estar sempre limpas e sem incrustações quando da sua reutilização.

Existe uma série de cuidados e medidas preventivas que devem ser adotadas para que o concreto não possua divergência em sua tonalidade. Sabe-se que mesmo que o concreto aparente seja aplicado à luz das melhores práticas, a probabilidade de haver uma alteração na sua tonalidade final é grande, considerando que há uma variação na tonalidade do cimento devido às variações químicas e físicas durante a sua produção (origem do minério e processo de queima) para um mesmo tipo de cimento, alteração das regiões onde são extraídas as areias e as britas etc.

Em alguns casos é recomendável algum tipo de tratamento superficial com produtos específicos para esta finalidade, a fim de facilitar a manutenção e evitar o acúmulo de fuligens provenientes do tráfego de automóveis e manter a homogeneidade em sua coloração.

3 Execução do protótipo

A Figura 3 apresenta uma vista geral do protótipo executado no canteiro da obra e suas 3 etapas de concretagem.



Figura 3 – Vista geral do protótipo

Durante a execução do protótipo foi possível observar alguns aspectos que necessitavam de alteração para garantir melhor desempenho e qualidade do produto final, tais como:

- Diâmetro da tubulação: devido à dificuldade observada durante o lançamento do concreto nas formas, verificou-se a necessidade de reduzir o diâmetro da tubulação para até 4" (polegadas) para conseguir lançar o concreto mais próximo da região inferior da estrutura e possibilitar maior mobilidade durante o seu lançamento. Comentou-se durante a concretagem que poderia ser desenvolvido um "funil" de madeira, por exemplo, para o lançamento do concreto o mais próximo da base das paredes. Estas medidas contribuiriam para diminuir a segregação do concreto quando de seu lançamento;

- Dosagem do aditivo superplastificante na usina: para que os caminhões betoneira chegassem à obra dosados, com a maior parte do aditivo superplastificante, deveriam ter um volume transportado de, no máximo, 6,5m³. Devido às características de auto-adensabilidade do concreto, caso fosse transportado com um volume total de concreto maior que 6,5m³, poderia haver perda do material durante seu percurso até a obra. Durante a concretagem do protótipo verificou-se que as operações de adição e mistura de todo o aditivo na obra dificultaram a maior rapidez de seu lançamento, além de prejudicar a sua homogeneização em toda a massa de concreto;

- Ajuste parcial do aditivo na obra: quando da chegada do concreto na obra, algumas vezes foi necessário um ajuste final do aditivo para atender as características especificadas. Para melhorar a homogeneização do aditivo por todo o balão do caminhão betoneira recomendou-se a utilização de um tubo de PVC para possibilitar o alcance do aditivo na região mais central do balão da betoneira. Para maior agilidade e segurança da equipe foi recomendada a construção de uma pequena plataforma para facilitar a adição do aditivo na "boca" do balão da betoneira;

- Aumento do espalhamento do concreto: após a retirada das formas do protótipo foi possível observar algumas bicheiras e bolhas na superfície do concreto, como mostram a Figura 4 e a Figura 5, que poderiam ter sido evitadas caso o concreto apresentasse maior espalhamento e melhor adensamento; por este motivo a classe de espalhamento do concreto foi alterada para SF3 (760 mm a 850 mm);



Figura 4 – Bolhas grandes na superfície do concreto



Figura 5 – Bolhas na superfície do concreto

- Adensamento do concreto: mesmo considerando o concreto auto-adensável recomendou-se que durante as concretagens sempre estivesse disponível um vibrador de imersão para realizar uma pequena vibração nas proximidades da forma, para expulsar parte do ar aprisionado na interface concreto/forma e assim minimizar o aparecimento de bicheiras e bolhas na superfície, além disso, para fazer a "costura" entre os concretos já lançados e o concreto novo, caso houvesse atraso no lançamento do concreto;

- Fissuração de retração por secagem: em virtude do comprimento da parede de concreto da obra, chegando a aproximadamente 50 m sem juntas de contração, previa-se o aparecimento de fissuras de retração por secagem. Este fato foi comprovado na parede do protótipo, como mostra a Figura 6, onde apareceu este tipo de fissura em ambos os lados. Para minimizar a ocorrência deste problema foi sugerida a utilização de um aditivo compensador de retração na adição do concreto da parede. Para avaliar o comportamento deste aditivo, foram solicitados alguns ensaios em laboratório;



Figura 6 – Fissura de retração no concreto

- Vedação das formas: foram observados alguns espaços entre os painéis das formas, como mostra a Figura 7. Considerando as características do concreto auto-adensável, recomendaram-se maiores cuidados na montagem das formas, de modo que as mesmas fossem sempre estanques e não houvesse perda do material;



Figura 7 – Espaço entre os painéis das formas

- Limpeza do interior das formas: a existência de sujeiras, detritos, entulhos, restos de desmoldantes, etc. podem prejudicar o aspecto da superfície do concreto aparente, como mostra a Figura 8. Com base nisso, recomendou-se a inspeção previamente ao lançamento do concreto, de modo a verificar se as formas estavam limpas, livres de óleo, isentas de água parada ou corrente, lama, detritos, entulhos, etc.;



Figura 8 – Problemas causados pela limpeza inadequada das formas

- Cobrimento do concreto: verificou-se que alguns espaçadores de plásticos estavam mal posicionados e/ou tinham sofrido pequena deformação devido a sua baixa resistência quando da colocação da forma interna, como mostra a Figura 9. Para evitar este problema sugeriu-se a substituição dos espaçadores de plástico por espaçadores pré-fabricados de argamassa, que possuem maior resistência, como mostra Figura 10.



Figura 9 – Posicionamento inadequado do espaçador de plástico



Figura 10 – Espaçadores pré-fabricados de argamassa

Durante a inspeção da parede verificou-se que, em alguns locais, a armadura estava em contato direto com a própria forma, como mostra a Figura 11 e notou-se uma região já executada em que o cobrimento da armadura não foi atendido, como mostra a Figura 12 e a Figura 13. Sabe-se que caso não fosse atendido o cobrimento mínimo, a durabilidade da estrutura seria comprometida (corrosão das armaduras, principalmente), portanto, recomendou-se que, previamente ao início das concretagens, fosse realizada inspeção detalhada dos espaçadores para verificar se o cobrimento e a localização das armaduras estavam em conformidade com o projeto.



Figura 11 – Armadura em contato direto com a forma



Figura 12 – Baixo cobrimento da armadura



Figura 13 – Cobrimento da armadura insuficiente

- Manchas no concreto: foram observadas algumas manchas no concreto, seja pela presença de desmoldante ou pelo escorrimento de concreto fresco durante a concretagem das etapas posteriores, como mostra Figura 14. Como o concreto é aparente, deveria ser evitado este tipo de problema, portanto recomendou-se o jateamento de água sob pressão nas paredes após a retirada das formas e a limpeza adequada das formas previamente à sua montagem.

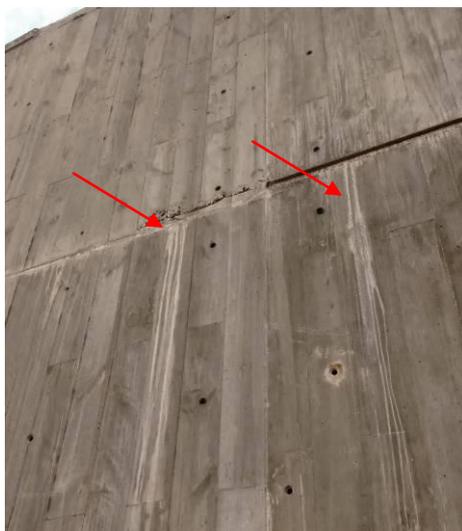


Figura 14 – Manchas no concreto aparente

- Diferença de coloração do concreto: entre diferentes etapas de concretagem foram verificadas diferenças na coloração do concreto, como mostra a Figura 15. De modo a minimizar este problema, recomendou-se que, além do controle de pesagem dos materiais constituintes do concreto, fosse realizado um check-list para controle do fornecedor de cada material.



Figura 15 – Diferenças na coloração do concreto aparente

Segundo informações da concreteira, semanalmente eram retiradas amostras dos materiais recebidos (areias, britas e cimento) para sua caracterização através de ensaios normalizados, portanto, foram solicitadas cópias dos ensaios físicos e químicos das amostras destes materiais para verificar se não haveria alteração significativa das suas características durante a concretagem das paredes.

Além da verificação das características das areias, britas e cimento, sugeriu-se que, previamente às concretagens, fosse realizada uma avaliação visual destes materiais para verificar se estavam em conformidade com a amostra de referência. Qualquer alteração de fornecedor e de suas características físicas, químicas e cor deveriam ser reportadas imediatamente à obra. Recomendou-se o registro destes materiais através de fotografias.

4 Execução das paredes de concreto aparente

Com base nos problemas observados durante a construção do protótipo, foi possível estudar alternativas de soluções para melhorar o desempenho e a qualidade do concreto das paredes do edifício.

Os procedimentos recomendados no item 3 foram adotados durante a construção das paredes da estrutura e os problemas construtivos foram minimizados.

A Tabela 1 apresenta a dosagem de concreto.

Tabela 1. Dosagem do concreto

Material	Consumo
Cimento CP II E 40 (kg/m ³)	360
Sílica ativa (kg/m ³)	23
Aditivo redutor de retração (kg/m ³)	10
Areia artificial (kg/m ³)	429
Areia natural (kg/m ³)	524
Brita 0 (kg/m ³)	448
Brita 1 (kg/m ³)	448
Água (l/m ³)	180
Aditivo polifuncional (l/m ³)	1,532
Aditivo superplastificante (l/m ³)	2,286

Para verificar a retração deste concreto foram realizados ensaios de retração, conforme a ASTM C 157, e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Dosagem do concreto

Abatimento inicial (mm)	25
Slump Flow (mm)	620
Massa específica (kg/m ³)	2427
Ar incorporado (%)	1
f _{ci} aos 3 dias (MPa)	31,9
f _{ci} aos 7 dias (MPa)	48,9
f _{ci} aos 28 dias (MPa)	51,8
Retração média (%)	0

A Figura 16 apresenta uma foto atual do edifício Interprime.



Figura 16 – Edifício Interprime, durante a construção pela empresa Porte Engenharia e Urbanismo

Este edifício será um complexo comercial importante, localizado no bairro Anália Franco. Durante conversas com os engenheiros da obra foram discutidas soluções para evitar a ação de pichadores, pois as paredes de concreto aparente estão bem próximas aos passeios, facilitando o acesso às mesmas.

Para evitar a pichação do concreto da fachada e para obter uma proteção adicional ao concreto, visto que o mesmo é aparente e está exposto às intempéries, foi recomendada a aplicação de um sistema de proteção de superfície transparente, com proteção anti-grafite. Este produto é composto por poliuretano bi-componente, base água, pode ser aplicado como pintura por rolo ou pulverização e possui as seguintes características:

- Repele a sujeira e a água (hidrorepelente);
- Resistente às intempéries e aos raios UV: não fica amarelo;
- Resistente à abrasão;
- Resistente ao ataque de cloretos;
- É aberto à difusão de vapor;
- Elevada resistência à carbonatação (103 cm de cobertura equivalente);
- Protege contra pichação.

5 Conclusão

Os procedimentos recomendados foram adotados, na medida do possível, durante a execução da obra e os resultados obtidos foram muito bons. Os valores de resistência a compressão foram superiores ao especificado, basicamente porque foi adotado o critério de se diminuir o teor de água do concreto e a relação água-cimento para diminuir a evaporação de água e conseqüentemente minimizar a probabilidade de ocorrência de fissuras causadas pela retração por secagem.

6 Referências

ABNT NBR 5738/2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;

ABNT NBR 5739/2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico;

ABNT NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento;

ABNT NBR 8522/2008 - Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão;

ABNT NBR 9833/2008 - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico;

ABNT NBR 12655/2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento;

ABNT NBR 15823/2010 – Concreto auto-adensável;

ABNT NBR NM 47/2002 - Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico;

ABNT NBR NM 67/1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;

ASTM C 157/C 157M-06 – Standard Test of Method for Length Change of Hardened Hydraulic – Cement and Concrete.