

TECNOLOGIA APLICADA À DOSAGEM E CONTROLE DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Wilkinson Lima Silva¹

Bnaine Aparecida de Souza Castro²

Sandra Maria de Lima³

RESUMO: Este artigo apresenta o método de dosagem de concreto elaborado por Helene e Terzian, com adaptações de Liborio, e ressalta a importância do conhecimento técnico e científico na dosagem de concretos para que se possam construir obras duráveis. O método apresentado tem como grande vantagem a construção de um ábaco de dosagem, poderosa ferramenta que fornece, a partir de apenas três misturas, parâmetros tais como relação água/aglomerante, consumo de cimento por metro cúbico de concreto, resistência à compressão e relação agregados/aglomerante. Outrossim, sugere-se os ensaios de absorção de água por imersão e capilaridade como parâmetro de durabilidade dos concretos.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, dosagem, durabilidade.

ABSTRACT: This paper presents the dosage method of concrete made up by Helene and Terzian and adopted by Liborio and it shows the importance of the technology and scientific knowledge on dosage of concretes to build durable constructions. The great advantage of this method is the possibility of tracing a dosage abacus, which is a powerful tool that informs four dosage parameters like: water/binder and aggregate/cement ratios, cement consumption by m³ of concrete, compression strength. These parameters are obtained by mixing three features of concrete. Absorption water tests by immersion and capillarity are suggested like durable parameters of concretes.

KEYWORDS: Concrete, dosage, durability.

¹ Tecnólogo em Controle de Obras, pelo Cefet-MT. E-mail: manacre@hotmail.com.

² Tecnóloga em Controle de Obras, pelo Cefet-MT. E-mail: bnainecastro@hotmail.com.

³ Doutoranda em Engenharia de Estruturas, pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP); professora do Deptº de Construção Civil do Cefet-MT. E-mail: lima@ccivil.cefetmt.br.

INTRODUÇÃO

Helene (2007) comenta a importância que as mais modernas e desenvolvidas sociedades, dentre elas Canadá, Estados Unidos da América e a Comunidade Científica Européia, de um modo geral, atribuem ao estudo das estruturas de concreto, considerado como um dos mais importantes investimentos na ciência e tecnologia para obter e manter a qualidade de vida de seus povos e a competitividade e liderança de seu parque industrial.

No entanto, apesar de o concreto ser o material de construção mais utilizado no mundo, em obras civis são observadas diversas patologias e até vícios que levam à deterioração prematura das edificações devido à falta de domínio dos diversos métodos de dosagem por parte do corpo técnico responsável pela obra, citando-se como exemplo mais recente o trabalho realizado em Mato Grosso por Lima (2007), onde as obras de infra e superestrutura de um ginásio de esportes tiveram que ser demolidas pela ausência do projeto do material, no caso o concreto.

O presente trabalho apresenta um Ábaco de Dosagem de Concreto (HELENE e TERZIAN, 1992) que vai minimizar a deficiência existente no canteiro de obras e, mesmo para usinas (concreteiras), este método otimiza a determinação dos estudos de dosagem.

Os primeiros a estudarem as propriedades mecânicas do concreto e a estabelecerem as leis que regem seu comportamento mecânico foram Ferét, em 1892, e Abrams, em 1925. Aïtcin e Neville (2003) citam Ferét como sendo provavelmente o primeiro a formular a relação entre a resistência à compressão do concreto com seus materiais constituintes. Ferét elaborou a seguinte equação, com base em seus experimentos:

$$f_c = k C^2 / (C + W + A)^2 \quad (\text{Equação 1}),$$

onde C , W e A representam o volume do cimento, água e ar incorporado, respectivamente, num volume unitário do concreto; k é um coeficiente que depende das propriedades do cimento; e f_c é a resistência à compres-

são da argamassa em ensaios com forma, tamanho e idades específicos.

Em 1925, nos EUA, Abrams propôs a equação que mostra as relações entre a resistência à compressão do concreto, e água/aglomerante:

$$f_c = A / B w/c \quad (\text{Equação 2}),$$

onde W/C é a relação água/cimento (a/c) expressa em volume, e A e B são constantes dependentes de condições específicas, tais como o tipo de cimento, período de cura e idade de ensaio.

O ábaco de dosagem proposto por Helene e Terzian contemplam, além dos fatores elencados até então por Ferét, Abrams e Powes (1958), apud Lima (2006), dentre outros, questões relativas aos demais constituintes do concreto. Este ábaco considera o teor de argamassa necessário para uma adequada cobertura da superfície dos agregados, além de possibilitar uma mistura trabalhável. Ao se atingir tal condição, pode-se dizer que a forma e textura dos agregados estão sendo compatibilizadas com as demais características da mistura dosada.

O método de dosagem utilizado nesta pesquisa segue as práticas recomendadas por Helene e Terzian (1992), com adaptações propostas por Liborio (2003), as quais visam principalmente melhorar parâmetros de durabilidade.

Liborio (2003) ressalta a importância do empacotamento dos agregados, ou seja, uma composição de agregados de modo a obter o menor volume de vazios, a qual produzirá um sistema de poros mais estável e de menor volume.

A sinergia entre aglomerantes e aditivos é analisada pelo ensaio de Kantro (CASTRO e LIBORIO, 2004). O ensaio de Kantro possibilita a determinação do ponto de saturação do aditivo, ou seja, a quantidade máxima a ser utilizada, sendo que adições acima deste ponto não melhoraram a eficiência do aditivo na mistura (LIMA, 2006).

A dopagem de agregados visando ao reforço da interface e melhora do desempenho quanto à durabilidade é um método bastante eficaz (ibid.), que também influencia os resultados de um estudo de dosagem.

Todas estas questões são possíveis de representação por meio da elaboração deste ábaco de dosagem.

Este artigo quer fornecer, além do método de dosagem, uma ferramenta simples para verificar a durabilidade dos concretos.

Segundo o Comitê 201 do American Concrete Institute (ACI), a durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.

O caminho para a deterioração das estruturas em concreto está relacionado à ocorrência de seus poros e à sua permeabilidade. Quando os poros estão conectados, os agentes agressivos atingem toda a extensão dos elementos de concreto. Poros desconectados influenciam a resistência mecânica do concreto, mas não são igualmente danosos à sua durabilidade.

Normalmente, os processos de deterioração de concretos estão relacionados à água. Mesmo sendo agente primário na criação do concreto, é ela a maior causadora da degradação do material concreto, quer seja por processos físicos ou químicos, neste último caso atuando como transporte de agentes agressivos, tais como cloretos e sulfetos. Entretanto, a água será tanto mais danosa quanto mais porosa e permeável for a matriz de cimento e os agregados constituintes do concreto. Concluimos, assim, ser de suma importância o estudo da porosidade e permeabilidade dos materiais.

De acordo com o proposto por Helene (1983), os concretos podem ser classificados, segundo a absorção de água, em: duráveis, quando o percentual é menor do que 4,2%; normais, quando a absorção está entre 4,2% e 6,3%; e, para valores maiores que 6,3%, os concretos são considerados deficientes.

O uso de adições e cimentos compostos propicia um maior refinamento dos poros do concreto, proporcionando uma maior proteção contra a penetração de agentes agressivos. A sílica ativa, incorporada ao cimen-

to, resulta em um material com desempenho superior ao concreto convencional, capaz de protegê-lo.

Bentur e Cohen (1987) estudaram as diferenças em produzir concretos com e sem sílica ativa e concluíram que, entre os agregados e a pasta de cimento, pode existir uma zona de interface bem mais densa para concretos com sílica ativa, o que incorre em concretos com menor permeabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO

Esta pesquisa consistiu em elaborar o ábaco de dosagem para materiais obtidos na região de Cuiabá utilizando-se o método de dosagem de Helene e Terzian adaptado por Liborio, descrito em Lima (2006), e analisá-los quanto à durabilidade a partir de ensaios de absorção por imersão e capilaridade de corpos-de-prova de concreto.

MATERIAIS

As características dos agregados constam da Tabela 1.

Uma vez realizados os ensaios para a verificação das principais características dos materiais, procedeu-se a uma série de análises para otimizar a dosagem.

A primeira foi o empacotamento, do que resultou que a mistura ótima foi de 55% de brita 19 mm e 45% de brita 25 mm; a massa unitária das britas 25 mm e 19 mm foram de 1,56 g/cm³ e, com o empacotamento nas proporções supracitadas, resultou numa massa unitária de 1,60 g/cm³. Este fato comprova a redução de vazios, o que, certamente, melhorará a eficiência do concreto.

Tabela 1. Caracterização dos agregados.

Características	Agregados		
	Areia fina	Brita (25 mm)	Brita (19 mm)
ρ (g/cm ³)	2,71	2,75	2,75
Ø max (mm)	4,8	25	19
Módulo de Finura (mm)	2,31	7,47	6,79
Absorção (%)	0,4	0,4	0,6
Coefficiente volumétrico	---	3,45	3,57
Número de angulosidade	5,6	---	---

Os aglomerantes utilizados foram: o cimento Portland CP II F 32 e a sílica ativa (10% em substituição volumétrica do cimento) e suas massas específicas foram de 3,18 g/cm³ e 2,26 g/cm³, respectivamente. O aditivo plastificante utilizado foi o SUPER 3030 (naftaleno sulfonado), com densidade de 1,08 g/cm³.

Outro procedimento realizado foi o ensaio de Kantro (Figura 1), que consiste em avaliar a eficiência de teores de aditivo na plastificação de uma pasta de cimento Portland, ou verificar a sinergia de cimento com adições (sílica ativa, cinzas volantes, polímeros, etc.).

Para a utilização de aditivos em concretos, é imprescindível o estudo da compatibilidade, ou seja, a sinergia entre aglomerantes e aditivos.

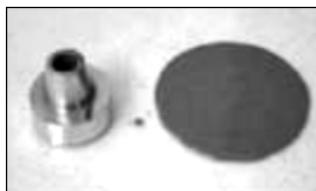
Figura 1. Verificação da potencialidade de aditivo plastificante em misturas de aglomerantes.



a) Tronco de cone.



b) Preenchimento com pasta de cimento.



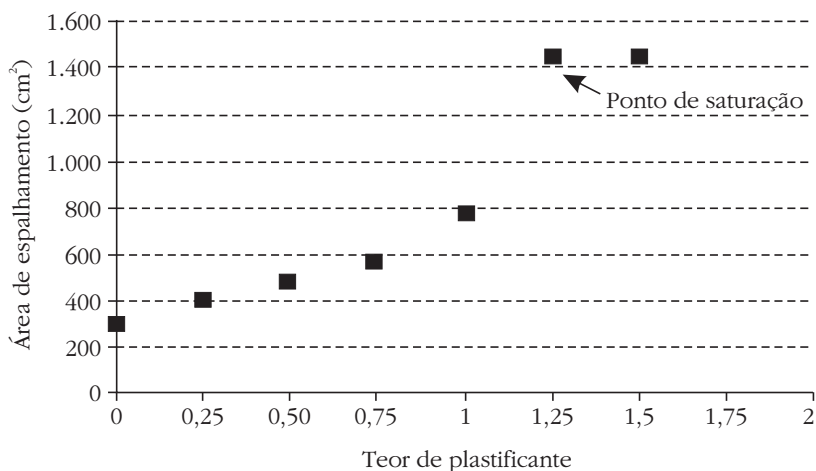
c) Mini tronco preenchido.



Fonte: LIBORIO e CASTRO, 2004.

O ensaio de Kantro realizado para o cimento Portland CP II F 32, com 10% de sílica ativa em substituição volumétrica e com aditivo plastificante, indicou o ponto de saturação correspondente ao teor de 1,25% de aditivo em relação à massa de aglomerante (Figura 2).

Figura 2. Ponto de saturação do plastificante em relação à massa de aglomerante obtida pelo ensaio de Kantro.



DOSAGEM

Com base na análise qualitativa dos constituintes do concreto – aglomerantes, aditivos, adições e agregados –, procederam-se as dosagens.

Foram dosadas três misturas 1: m, que forneceram dados relativos ao consumo do cimento, relação a/agl, e a resistência mecânica. A partir dos três dados para cada propriedade, foi possível traçar as curvas de cada um destes parâmetros, as quais comporão o ábaco de dosagem.

Uma vez que os materiais são os mesmos para os três traços, o teor de argamassa é determinado para a primeira mistura dosada e todas as outras misturas são produzidas com a mesma consistência. O teor de argamassa adequado para a obtenção de uma mistura coesa, com bom acabamento superficial e de fácil manipulação, foi determinado em 49%.

O teor de argamassa é determinado por meio de tentativas. Adota-se um valor inicial para promover a mistura e, à medida que se faz necessário, acrescentam-se incrementos de argamassa, ou seja, porções de aglomerante, areia, água e aditivo, até que se verifique a cobertura de toda a superfície dos agregados graúdos e adequada coesão.

De acordo com a aplicação do concreto, adota-se a medida de abatimento determinada pelo tronco de cone (NBR NM 67, 1998), sendo, nesta pesquisa, adotada em $100\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$.

Adotou-se o mesmo teor de plastificante para a realização das dosagens.

A escolha do teor de plastificante é feita a partir do ensaio de Kantro, adotando-se, para esta dosagem, 0,8% em função do abatimento almejado. Outras dosagens com teores mais elevados poderiam ter sido realizadas, pois o ponto de saturação do aditivo é de 1,25%.

Além da análise de cada um dos materiais, optou-se por uma sequência de mistura dos materiais, descrita a seguir:

1. Mistura dos agregados graúdos com a sílica ativa e 20% da água de amassamento, misturando por 2 minutos;
2. Acréscimo do cimento Portland CP II F 32 e, em seguida, adição do agregado miúdo e 50% da água de amassamento, misturando por 3 minutos;

3. Adição do plastificante com 30% da água de amassamento, misturando por 2 minutos.

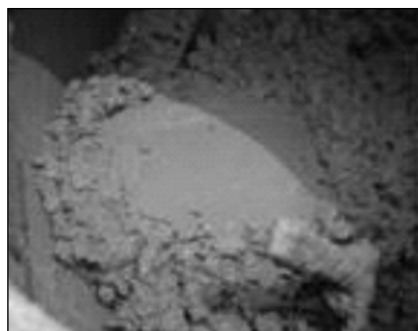
Esta sequência de mistura, segundo Lima (2006), propicia a dopagem dos agregados graúdos, além de permitir que transcorra o tempo necessário para o início da reação de hidratação do cimento Portland, para então adicionar o plastificante, direcionando a ação dos aditivos à superfície dos aglomerantes já absorvidos nas paredes dos agregados, evitando, assim, que parte do volume destes tensoativos seja desperdiçada ao ser envolvida por agregados ainda não revestidos por pasta de cimento.

O concreto foi ensaiado quanto à sua coesão e trabalhabilidade antes da moldagem de corpos-de-prova (Figura 3).

Figura 4. Verificação da qualidade do concreto plástico.



Coesão.



Teor de argamassa e trabalhabilidade.

Moldaram-se quatro corpos-de-prova de cada mistura, os quais foram curados em câmara úmida por 28 dias.

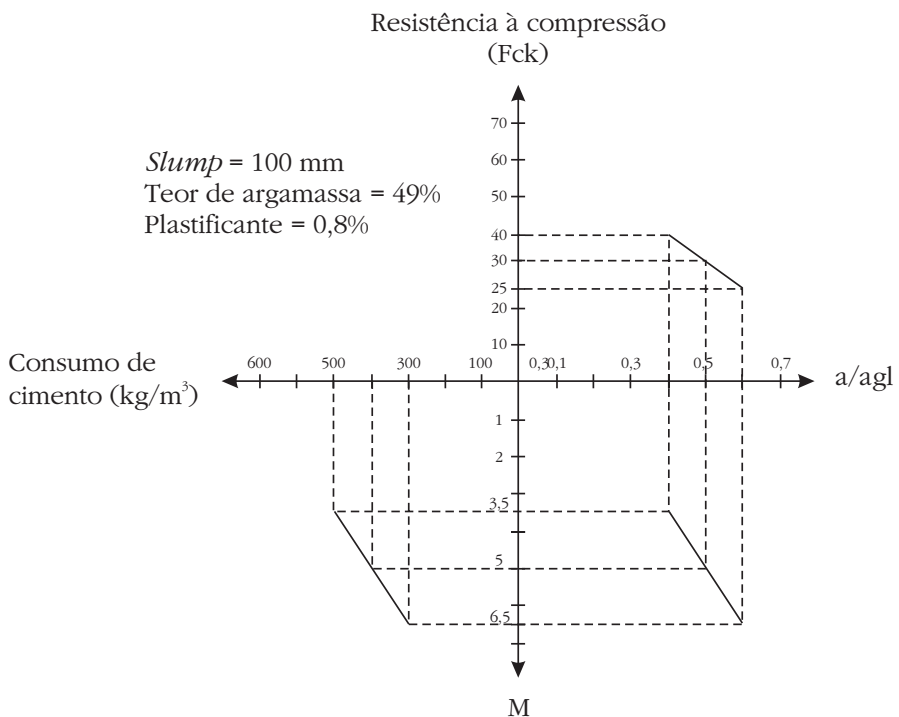
ÁBACO DE DOSAGEM

O estudo dos materiais e a dosagem de concreto a partir deles resultou no ábaco de dosagem ilustrado na Figura 5. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos nesta dosagem e usados no ábaco.

Tabela 2. Parâmetros de dosagem e propriedades do concreto fresco e endurecido.

Especificações	Traço 1:3,5	Traço 1:5	Traço 1:6,5
Relação a/agl	0,39	0,47	0,59
Consumo de cimento (Kg/m ³)	487	370	297
Resistência à compressão	40	30	25
Massa específica do concreto endurecido (g/cm ³)	2,59	2,6	2,52

Figura 4. Ábaco de dosagem.



ENSAIOS DE DURABILIDADE

ENSAIO DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO

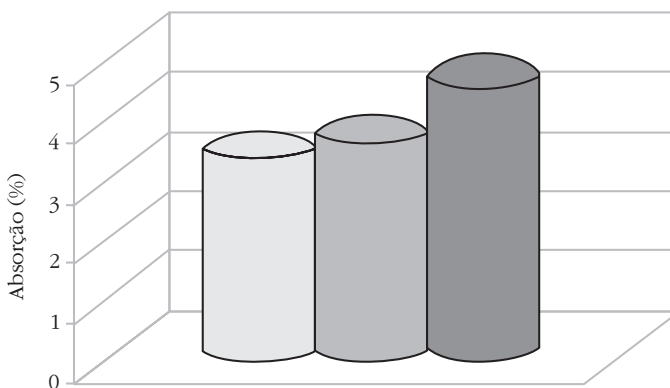
Este ensaio foi realizado seguindo as diretrizes da NBR 9778. Após 28 dias de cura do concreto, as amostras foram secas ao ar; em seguida foram colocadas na estufa a uma temperatura de 105° C e suas massas foram determinadas com 24, 48 e 72 horas. Após o resfriamento, suas massas foram determinadas novamente (A). Em seguida, as amostras foram colocadas num recipiente, imergindo-se 1/3 delas nas primeiras 4 horas; 2/3 nas 4 horas seguintes e totalmente nas 64 horas restantes (Figura 5). Logo após, suas superfícies foram secas e suas massas determinadas (B).

Para a determinação da massa específica, estas mesmas amostras foram submetidas à pesagem hidrostática (C). A absorção foi calculada a partir de:

$$\frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 3}).$$

Os valores de absorção por imersão foram de 3,43%, 3,68% e 4,62% para os concretos com traços 1:3,5, 1:5,0 e 1:6,5, respectivamente (Figura 5).

Figura 5. Absorção por imersão.



Resultados de absorção para os traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5, respectivamente.

ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Seguindo a NBR 9779, foram coletadas as amostras de concreto em corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Depois da cura aos 28 dias, eles foram colocados na estufa a 105° C até a constância de massa (A). Em seguida, os corpos-de-prova foram resfriados até a temperatura de $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ e suas massas foram determinadas. Em ambiente de temperatura constante de $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$, os corpos-de-prova foram colocados em recipiente com o nível de água de $5 \pm 1 \text{ mm}$ (Figura 6).

As massas destes corpos-de-prova foram determinadas durante o ensaio com 3, 5, 24, 48 e 72 horas (B), sempre os enxugando previamente com um pano úmido.

Em seguida, os corpos-de-prova foram rompidos diametralmente para a leitura da ascensão capilar (Figura 6).

Os resultados da imersão por capilaridade para os concretos de traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5 foram, respectivamente: 1,44 g/cm², 1,38 g/cm² e 1,37 g/cm² (Figura 7), obtidos pela aplicação das leituras na Equação 4:

$$C = \frac{B - A}{S},$$

onde C = absorção por capilaridade em g/cm² e S = área da seção transversal do corpo-de-prova em cm².

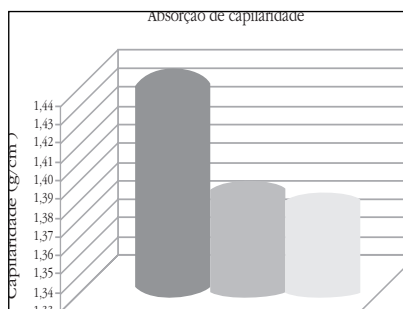
Figura 6. Ensaio de absorção por capilaridade.



a) Corpos-de-prova imersos em lâmina d'água de 5 ± 1 mm.

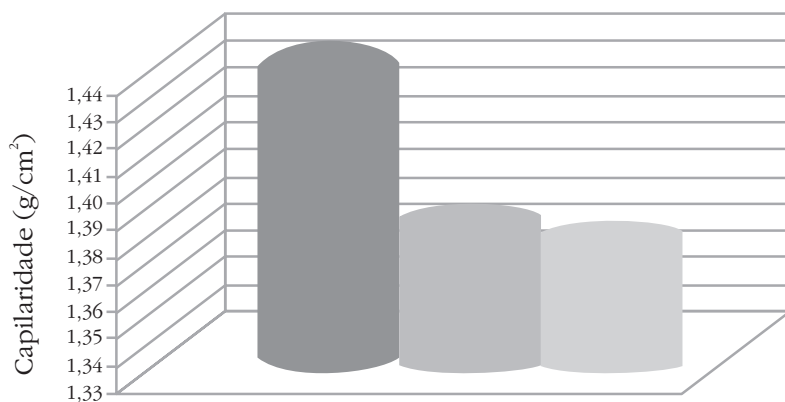


b) Ruptura diametral dos corpos-de-prova.



c) Ensaio para leitura da ascensão capilar.

d) Absorção de capilaridade



Resultados da ascensão capilar em g/cm² para os traços 1:3,5, 1:5 e 1:6,5, respectivamente.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O primeiro objetivo deste artigo é o de divulgar a construção de um ábaco de dosagem, concebido por Helene e Terzian, bem como mostrar a facilidade do método de dosagem elaborado pelos mesmos autores, com as adaptações propostas por Liborio.

A partir do ábaco ilustrado na Figura 4, vários outros traços poderão ser obtidos, de acordo com a aplicação dos elementos de concreto a serem moldados, desde que se utilizem os mesmos materiais e com mesma trabalhabilidade, sem a necessidade de novos estudos de dosagem.

Os resultados de resistência à compressão dos concretos à idade de 28 dias mostrou um consumo de 12 kg de cimento por 1 MPa obtido. Ressalta-se que este valor, embora seja o comumente alcançado em concreteiras, poderia ser melhorado em até 40% por medidas corretivas das características dos materiais empregados.

Dentre estas medidas, pode-se citar o aumento do teor de plastificante até seu ponto de saturação. Nesta primeira pesquisa, optou-se por não utilizar o ponto de saturação para verificar o potencial plastificante do aditivo, pois tais produtos podem encarecer a dosagem.

Outra medida seria a de utilizar agregados graúdos com composições granulométricas mais distintas para melhorar o empacotamento.

A composição do agregado miúdo também poderia ser melhorada, pois o número de angulosidade foi de 5,60%, o que caracteriza a presença excessiva de vazios entre suas partículas. A medida mitigadora desta deficiência seria a composição deste agregado com outro de menor módulo de finura.

É importante ressaltar a garantia que este método oferece em relação à obtenção de misturas com trabalhabilidade adequada sob o ponto de vista de acabamento das peças, bem como ao combate da segregação (Figura 3), características decorrentes da determinação correta do teor de argamassa.

O segundo objetivo deste artigo foi o de sugerir os ensaios de absorção para avaliar a durabilidade de concretos. A partir do critério sugerido por Helene (1993), podem-se classificar os concretos de traço 1:3,5 e 1:5 como duráveis e o concreto 1:6,5 como normal, embora este último

tenha apresentado absorção muito próxima do limite sugerido por Helene, ou seja, teve sua absorção por imersão em 4,62%, enquanto o limite é de 4,2%. Ressalta-se que este traço de 1:6,5 teve seu consumo de cimento próximo do mínimo sugerido por norma.

Os resultados foram bastante satisfatórios e comprovaram a eficácia do método de dosagem de Helene e Terzian, adaptado por Liborio, na produção de concretos duráveis.

A absorção por capilaridade também comprovou o refinamento dos poros, pois, para os traços mais ricos, obteve-se maior altura de ascensão.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos e sua análise, pode-se concluir que o método de dosagem propiciou uma mistura coesa e com o *slump* almejado.

As resistências à compressão atingidas correspondem às aquelas estimadas pela curva de Abrams fornecida pelo fabricante do cimento.

O ábaco de dosagem conseguiu reunir todas as informações necessárias para a escolha, o preparo e o controle do concreto em obras, firmando-se como uma eficiente ferramenta de qualidade.

Os ensaios de absorção por imersão e por capilaridade são ferramentas simples e eficientes para a avaliação da durabilidade de concretos.

Os materiais utilizados produziram concretos duráveis, sendo atribuídos à adição de sílica ativa a desconexão e o refinamento dos poros, corroborando a produção de concretos pouco permeáveis.

É imprescindível ressaltar que todos os resultados ora mencionados são válidos única e exclusivamente para materiais com características semelhantes aos utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P. C.; NEVILLE, A. How the water-cement ratio affects concrete strength. *Concrete International*, [s.l.], v. 25, n. 8, p. 51-58, aug. 2003.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for making a condition survey of concrete.

te in service: reported by Committee 201. In: _____. *ACI manual of concrete practice*. Detroit: ACI, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Manual de ensaios de agregados, concreto fresco e concreto endurecido*. v. 2. São Paulo: ABCP, 200. 119 p.

BENTUR, A.; COHEN, M. D. Effect of condensed silica fume on the microstructure of the interfacial zone in Portland cement mortars. *Journal of the American Ceramic Society*, [s.l.], v. 70, n. 10, p. 738-743, oct. 1987.

HELENE, P. R. L. La agresividad del médio y la durabilidad del hormigón. *Hormigón*, [s.l.], n. 10, p. 25-35, 1983.

_____.; TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 349 p.

_____. IV revolução na arte de projetar e construir estruturas? *Concreto e Construção*, São Paulo, n. 46, p. , 2007.

LIBORIO, J. B. L. Concreto de alto desempenho – uma tecnologia simples para produção de estruturas duráveis. *Revista Técbene*, [s.l.], dez. 2003.

_____.; CASTRO, A. L. A importância da avaliação ecológica de pastas com e sem sílica ativa para produção de concretos estruturais com cimento Portland para obras marítimas. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, n° do seminário., 2004, Rio Grande do Sul. *Anais...* Rio Grandedo Sul: [s.n.], 2004. 1 CD-ROM.

LIMA, S. M. de. *Concreto de alto desempenho em ambientes com baixas temperaturas*. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado), Deptº de Engenharia de Estruturas, EESC – USP. 235 p.

_____. A necessidade do controle tecnológico na construção civil: um estudo de caso. In: SEMINÁRIO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL DO MATO GROSSO, 2., 2007, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: UFMT, 2007. 1 CD-ROM.

VIEIRA, F. P et al. *Estudos de durabilidade em concretos e argamassas com adição de microsilica*. Disponível em: http://allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/WS_Durabilidade200612261066.pdf. Acesso em: 5 set. 2007.