

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA DOSAGEM DE CONCRETO CONVENCIONAL COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DA ENGENHARIA CIVIL

Alex Cavalcante dos Santos¹; Anne Caroline Linhares Monteiro²; Hidelbrando José Farkat Diógenes³

¹Universidade Federal da Paraíba – alexcavalcante_@outlook.com

²Universidade Federal da Paraíba – anneclmonteiro@hotmail.com

³Universidade Federal da Paraíba – hidelbrando@ct.ufpb.br

Na engenharia o uso de *softwares* tem crescido, o que demonstra a necessidade de atualizar as metodologias de ensino, transformando a tecnologia em uma ferramenta capaz de dinamizar o processo de aprendizagem. Dentre os *softwares* disponíveis, ganha destaque os aplicativos móveis (Apps), que por serem instalados em *smartphones* têm a grande vantagem de quase sempre estarem em mãos. Nas disciplinas da área de estruturas do curso de Engenharia Civil, há constantemente a necessidade da realização de extensas marchas de cálculo, em que por vezes é necessária a análise de ábacos, tabelas e fórmulas, tornando o processo ainda mais demorado e trabalhoso. Essa dificuldade se estende ao ambiente profissional. Durante as atividades de campo, o engenheiro costumeiramente se depara com a necessidade de fazer cálculos (nem sempre rápidos e simples) para resolução de problemas ou proposição de soluções. Uma das situações que dia após dia se repete nas obras é a de determinação ou verificação da dosagem correta do concreto. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo desenvolver um aplicativo intitulado CCC. *beta* 1.0 para *smartphones* com sistema operacional Android capaz de calcular o traço unitário em peso (TUP) de concretos convencionais por meio das metodologias propostas pelo *American Concrete Institute* (ACI) e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Com este fim foi feita uma breve revisão bibliográfica sobre os métodos de dosagem propostos e os parâmetros que devem ser considerados. Para verificar a acurácia do CCC. *beta* 1.0 os dados de saída do App foram comparados com resultados de dosagens calculadas manualmente, além disso foram analisadas comparativamente as respostas obtidas nos métodos de dosagem ACI e ABCP, pelo CCC. *beta* 1.0. Frente aos resultados atesta-se a eficácia do aplicativo, o qual pode ser considerado um recurso didático auxiliar no ensino da engenharia, capaz de motivar os alunos e despertá-los para o conteúdo, conduzindo-os à análise crítica dos resultados a partir de diferentes métodos de dosagem.

Palavras-chave: Dosagem, Concreto, Aplicativo didático, Programação, *Mobile*.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, mais do que nunca, observa-se a imersão da sociedade moderna em um universo de tecnologias. Nesta perspectiva, o uso delas no ambiente acadêmico, como recurso auxiliar na construção do conhecimento, possibilita que a compreensão do conteúdo ocorra de forma mais prazerosa.

Na engenharia o uso de *softwares* tem crescido, o que demonstra a necessidade de atualizar as metodologias de ensino, transformando a tecnologia em uma ferramenta capaz de dinamizar o processo de aprendizagem. Dentre os *softwares* disponíveis, ganha destaque os aplicativos móveis (Apps), que por serem instalados em *smartphones* tem a grande vantagem de quase sempre estarem em mãos.

Além da mobilidade, os Apps tem como benefício a resolução rápida de cálculos que poderiam levar minutos ou até horas para serem desenvolvidos à mão. Com isto não se propõe a substituição da forma tradicional de ensino, pelo contrário o que se pretende é disponibilizar uma ferramenta auxiliar para comparação de resultados e avaliação crítica destes, aprimorando a aprendizagem.

Nas disciplinas da área de estruturas do curso de Engenharia Civil, há constantemente a necessidade da realização de extensas marchas de cálculo, em que por vezes é necessário a análise de ábacos, tabelas e fórmulas, tornando o processo ainda mais demorado e trabalhoso. Essa dificuldade se estende ao ambiente profissional. Durante as atividades de campo, o engenheiro costumeiramente se depara com a necessidade de fazer cálculos (nem sempre rápidos e simples) para resolução de problemas ou proposição de soluções. Um das situações se repete nas obras é a de determinação ou verificação da dosagem correta do concreto.

Entende-se por dosagem o cálculo das proporções adequadas de materiais (cimento, água, agregados, adições e aditivos) do concreto, conferindo trabalhabilidade e resistência, ao menor custo possível. Segundo Helene e Terzian (1992), no início da utilização do concreto, a dosagem era feita de forma empírica, isto é, a mistura era realizada com base na experiência. Por ser um método que não levava em consideração as características dos agregados gerava misturas com excesso de aglomerante e não econômicas.

Atualmente, conforme a NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, a dosagem empírica não é permitida para concretos com resistência superiores a 20 MPa, logo é necessário utilizar metodologias de dosagem para definir o consumo ótimo de cada componente do concreto.

No Brasil, ainda não há uma recomendação comum de como deve ser o estudo de dosagem. A inexistência de um consenso nacional fundamentado em uma norma sobre os procedimentos e parâmetros de dosagem tem levado vários pesquisadores a proporem suas próprias metodologias (HELENE, 2005). Dentre os métodos existentes estão os propostos pelo *American Concrete Institute* (ACI) e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), ambos amplamente utilizados e aceitos.

Frente às vantagens que o App propicia ao usuário, seja ele um engenheiro que deve realizar verificações em campo ou um estudante que necessita de ferramentas auxiliares de estudo, o objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo intitulado CCC. *beta* 1.0 para a plataforma *Android* de dispositivos móveis, capaz de dosar concretos convencionais pelo método da ABCP e do ACI. Propõe-se que, a partir de dados de entrada, o App esteja apto a calcular o consumo dos componentes da mistura por metro cúbico de concreto e informar o traço unitário em peso (TUP).

Além dos estudantes de engenharia, espera-se que os profissionais da área também sejam beneficiados, uma vez que o aplicativo possibilita o cálculo da dosagem de concretos convencionais de forma prática e objetiva, viabilizando a análise direta no canteiro de obras, o que evita a dosagem empírica, isto é, baseada apenas na experiência do engenheiro.

2. METODOLOGIA

2.1 Método ACI de dosagem

O método do *American Concrete Institute*, conhecido por ACI 211.1-91 considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais, para determinação dos consumos de concreto, agregados e relação a/c (HELENE, 2005).

Para aplicação do método ACI devem ser seguidas etapas, as quais são descritas a seguir. Todos os gráficos e tabelas necessários para aplicação deste método estão disponíveis no trabalho de Mehta e Monteiro (2006).

Determinação do fator água/cimento (a/c)

Como diferentes tipos de agregados e de cimentos podem gerar diferentes resistências, o ACI estima o fator a/c a partir da resistência desejada, chamada resistência de dosagem.

O cálculo da resistência de dosagem é realizado conforme recomendação da NBR 12655:2015 e é função da resistência característica do concreto (f_{ck}) e de um desvio padrão. O

valor de f_{ck} é adotado conforme escolha do usuário. Já o desvio padrão, segundo a norma deve ser estimado em função da condição de preparo do concreto (condição A, B e C). Os concretos simples, foco deste estudo, fazem parte da condição de preparo A e para esse grupo o desvio padrão deve ser de 4MPa.

Cálculo do consumo de cimento (C)

O consumo de cimento é calculado dividindo-se o teor de água no concreto, pelo fator água/cimento. O teor de água utilizado na mistura, por sua vez, depende do diâmetro máximo do agregado e do abatimento desejados, os quais podem ser definidos em função do tipo de estrutura que se destina o concreto. De posse destes valores é possível conhecer o teor de água a partir de tabela que correlaciona essas variáveis.

Estimativa do consumo de agregado graúdo (P_g)

A graduação do agregado pode ser um fator econômico decisivo na mistura do concreto. Dados de inúmeros testes mostram que o diâmetro máximo do agregado graúdo e o módulo de finura da areia são determinantes para que o concreto atinja trabalhabilidade satisfatória.

Assim, a partir de tabela que correlaciona esses parâmetros é possível definir o volume de agregado graúdo por m^3 de concreto. Para obter o consumo de agregado graúdo em kg, basta multiplicar o valor encontrado pelo seu peso específico.

Estimativa do consumo de agregado miúdo (P_m)

O peso do agregado miúdo pode ser estimado subtraindo-se o peso do concreto pelo somatório do peso dos outros materiais, previsto nas etapas anteriores. O peso estimado do concreto é também obtido a partir de tabela; neste caso, em função diâmetro máximo do agregado.

De posse do consumo de cimento e agregados e do fator a/c é possível obter o Traço Unitário em Peso (TUP), a partir da Equação 1.

$$\frac{C}{C} : \frac{P_m}{C} : \frac{P_g}{C} : a/c \quad (1)$$

2.2 Método ABCP de dosagem

Trata-se de uma adaptação do método proposto pela ACI 211.1-81. Essa metodologia considera tanto tabelas, quanto gráficos elaborados a partir de

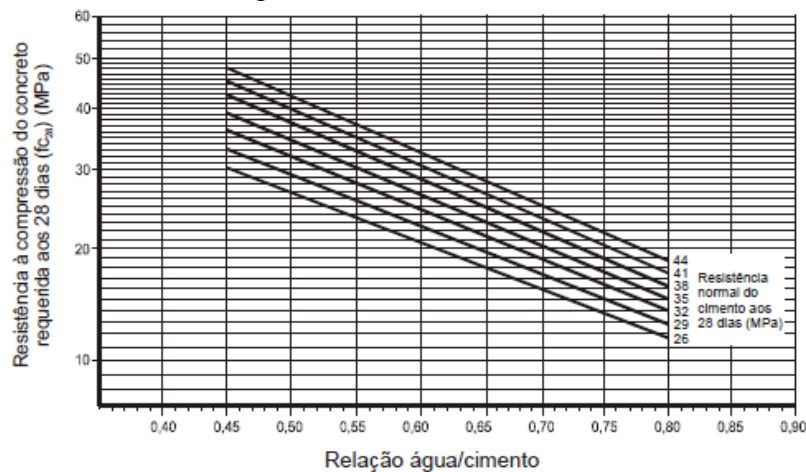
informações experimentais que permitem a utilização de agregados que se enquadram nos limites propostos pela norma brasileira NBR 7211:1983 - Agregados para Concreto.

Para este método foram seguidas as etapas descritas a seguir. Todas as tabelas necessárias para aplicação deste método estão disponíveis no trabalho de Rodrigues (1998).

Determinação do fator água/cimento (a/c)

Para obter o fator a/c, o método ABCP recomenda o uso da curva de Abrams (Figura 1) que relaciona a resistência de dosagem e a resistência nominal do cimento com o fator a/c.

Figura 1 - Curva de Abrams



A partir dessa curva foram extraídos valores, ponto a ponto, para todos os tipos de cimento e organizados em tabelas, por meio das quais deduziram-se os valores de variáveis K1 e K2. Desse modo foi possível montar a Equação 2 (Lei de Abrams) e obter o valor de a/c.

$$\log f_{cj} = \log K_1 - a/c \log K_2 \rightarrow a/c = \frac{\log K_1 - \log f_{cj}}{\log K_2} \quad (2)$$

Cálculo do consumo de cimento (C)

Segue a mesma metodologia do método ACI.

Determinação do consumo de agregado graúdo (Pg)

O volume de agregado graúdo pode ser estimado por meio de tabela que correlaciona seu valor ao módulo de finura do agregado miúdo e ao diâmetro máximo do agregado graúdo. O

consumo (em kg) é definido da mesma forma como indicado no método ACI.

Determinação do consumo de agregado miúdo (P_m)

Segue o mesmo raciocínio utilizado no método ACI, porém o volume de agregado miúdo é estimado para 1 m³ de concreto. Neste caso, o volume pode ser calculado a partir da Equação 3 e o peso, em kg, é obtido multiplicando o valor encontrado (V_m), em m³, pelo peso específico do material.

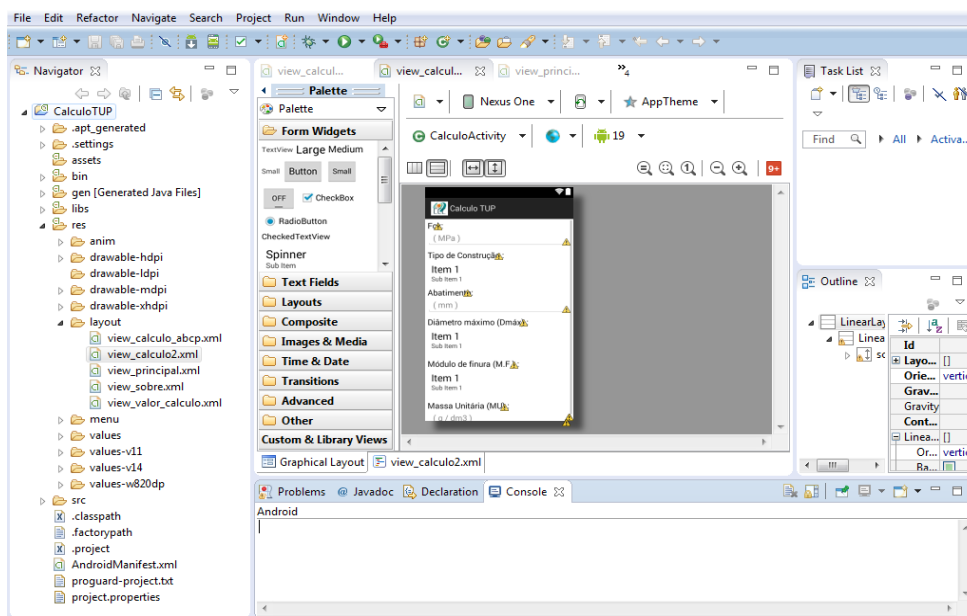
$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{C_g}{\gamma_b} + \frac{C_m}{\gamma_a} \right) \quad (3)$$

De posse do consumo de cimento e agregados e do fator a/c é possível obter o Traço Unitário em Peso (TUP), a partir da Equação 1, apresentada no tópico 2.1 deste trabalho.

2.3 Desenvolvimento do aplicativo CCC. *beta* 1.0

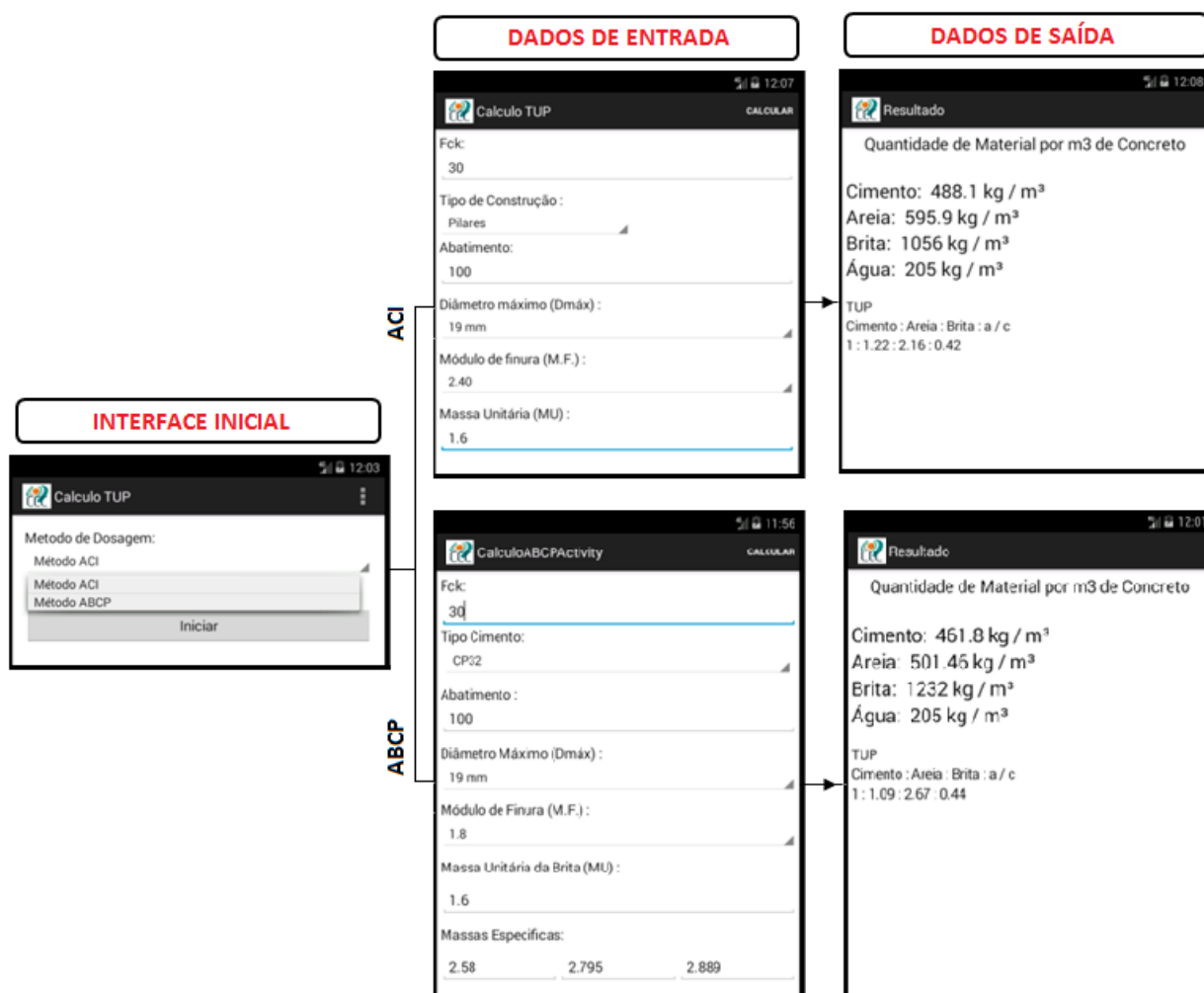
O programa utilizado para o desenvolvimento do aplicativo CCC. *beta* 1.0 foi o Eclipse Neon (Figura 2), um IDE para desenvolvimento na plataforma Android. O IDE, do inglês *Integrated Development Environment*, é um programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de *softwares*.

Figura 2 - Ambiente de desenvolvimento do Eclipse Neon



A partir do procedimento apresentado nos tópicos 2.1 e 2.2 e do Eclipse Neon foi possível conceber o CCC. *beta* 1.0. O App foi desenvolvido visando proporcionar um fácil entendimento, de forma que o usuário possa utilizá-lo intuitivamente. A Figura 3 apresenta a interface inicial do App, onde é possível optar pelo método de dosagem que se deseja utilizar.

Figura 3 - Metodologia de utilização do CCC. *beta* 1.0



Caso o usuário opte pelo método ACI são exigidos como dados de entrada: resistência característica do concreto (f_{ck}), em MPa; tipo de estrutura para qual o concreto será usado; abatimento, porém com base no tipo de estrutura já será sugerido um valor de abatimento, de acordo com recomendações de Mehta e Monteiro (2006); massa unitária do agregado graúdo, em kg/dm^3 ; diâmetro máximo de agregado, em mm; e módulo de finura do agregado.

Caso o usuário queira utilizar o ABCP são exigidos como dados de entrada: resistência característica do concreto (f_{ck}), em MPa; resistência nominal do cimento aos 28 dias, em MPa; abatimento em mm; massa unitária do agregado graúdo, em g/dm^3 ; massa específica do

agregado miúdo, do cimento e do agregado graúdo, em kg/dm^3 ; diâmetro máximo de agregado, em mm; e módulo de finura do agregado.

2.4 Análise comparativa entre os resultados do CCC. *beta* 1.0 e do cálculo manual

Para atestar a confiabilidade do aplicativo desenvolvido serão comparados os valores obtidos pelo método ABCP por meio CCC. *beta* 1.0 e de cálculos manuais.

Enquanto no App a relação água/cimento é calculada diretamente pela Lei de Abrams (Equação 2), no método manual o valor de a/c pode ser consultado diretamente pela curva de Abrams, logo é esperado que os resultados divirjam levemente. O objetivo é mostrar que a diferença é desprezível, comprovando a eficácia do aplicativo.

Como as únicas variáveis que se alteram em função fator a/c são o consumo de cimento e consumo de agregado miúdo esses serão os parâmetros analisados na comparação dos resultados. Também será feita a análise dos resultados obtidos entre métodos ACI e ABCP de dosagem, ambos por meio do CCC. *beta* 1.0, visando avaliar os traços fornecidos para os mesmos dados de entrada (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados de entrada para comparação dos traços

Dados de entrada	Valor
Resistência nominal do cimento aos 28 dias	29 MPa e 32 MPa
Diâmetro máximo do agregado graúdo	19 mm
Módulo de finura	1,56
Massa unitária do agregado graúdo	1,60 Kg/dm^3
Massa específica do agregado miúdo	2,58 Kg/dm^3
Massa específica do agregado graúdo	2,795 Kg/dm^3
Abatimento	100 mm
Massa específica do cimento	2,889 g/cm^3

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise comparativa pelo método ABCP: dosagem manual x CCC. *beta* 1.0

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados para os consumos de cimento (C) e de agregado miúdo (C_m) calculados pelo método ABCP manualmente (uso da Curva de Abrams) e CCC. *beta* 1.0 (aplicação da Lei de Abrams), para as resistências nominais de 29 MPa e 32 MPa.

A partir dos valores apresentados nas colunas 2 a 7 é possível notar que os consumos de cimento (C) e de agregado miúdo (C_m), bem como os valores de a/c foram muito próximos para o cálculo manual e com uso do App.

Tabela 2 – Consumo de cimento e agregado miúdo para CP-29

f _{ck} (MPa)	Manual			CCC. beta 1.0		
	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
25	0,46	445,70	515,88	0,47	439,90	521,06
22,5	0,50	410,00	547,72	0,50	412,10	545,86
20	0,54	379,60	574,84	0,53	385,60	569,54
17,5	0,57	360,30	592,12	0,57	360,10	592,28
15	0,61	334,97	614,73	0,61	335,50	614,25
12,5	0,66	311,10	636,06	0,66	311,60	635,59
10	0,72	285,50	658,89	0,71	288,20	656,49

Tabela 3 - Consumo de cimento e agregado miúdo para CP-32

f _{ck} (MPa)	Manual			CCC. beta 1.0		
	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
30	0,45	455,60	507,04	0,44	461,80	501,50
27,5	0,46	445,70	515,88	0,47	434,80	525,60
25	0,50	410,00	547,72	0,50	409,00	548,60
22,5	0,54	383,20	571,67	0,53	384,40	570,60
20	0,57	359,60	592,69	0,57	360,70	591,70
17,5	0,62	330,65	618,58	0,61	337,80	612,20
15	0,64	320,30	627,82	0,65	315,60	632,00

Para o concreto de resistência nominal 29 MPa (Tabela 2), o erro máximo para a relação a/c foi de 2,22%; para o consumo de cimento 2,45% e para o de agregado miúdo esse valor foi de apenas 1,88%. Já para o concreto de resistência nominal 32 MPa (Tabela 3), o erro máximo para a relação a/c foi 2,17%; para consumo de cimento 1,58% e para o de agregado miúdo 1%. Como os valores dos erros são desprezíveis é possível creditar confiabilidade ao App CCC. beta 1.0.

3.2 Análise comparativa: dosagem ACI e ABCP

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a relação a/c, consumo de cimento (C) e consumo de agregado miúdo (C_m) calculados segundo o método ACI e ABCP.

Tabela 4 - Resultados obtidos pelo método ACI e ABCP

f _{ck} (MPa)	Método ACI			Método ABCP			Erro relativo em módulo (%)		
	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)	a/c	C (kg/m ³)	C _m (kg/m ³)	a/c	C	C _m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
30	0,42	488,10	596,00	0,44	461,80	501,50	4,76	5,39	15,86
25	0,47	436,20	648,00	0,50	409,04	548,60	6,38	6,23	15,34
20	0,54	379,60	704,00	0,57	360,71	591,70	5,56	4,98	15,95
15	0,61	336,10	748,00	0,65	315,63	632,00	6,56	6,09	15,51

As colunas 8, 9 e 10 da Tabela 4 mostram o erro relativo em porcentagem dos parâmetros a/c, C e C_m calculados segundo os métodos ACI e ABCP. Neste caso, observa-se que a divergência entre os resultados atinge valores maiores, sendo superiores a 15% para o consumo de agregado miúdo.

Segundo Mehta e Monteiro (2006) todo estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório e/ou campo, o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem a dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência. Logo, essa subjetividade entre os métodos dá margem para certas diferenças entre os traços fornecidos por cada uma deles.

Com base na Tabela 4 nota-se que o método ABCP conduz a um traço mais conservador e econômico. Pode-se considerar mais conservador, pois assume valores maiores para a relação a/c. Como a resistência do concreto decresce com o aumento de a/c, neste caso admite-se que o concreto resiste menos. Também pode ser dito mais econômico, já que recomenda-se um consumo menor de cimento por m³, quando comparado ao método ACI. O cimento, em geral, é o insumo mais caro dentre aqueles utilizados no concreto.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 verifica-se que o CCC. *beta* 1.0 conduz a resultados muito próximos daqueles obtidos por meio da

literatura (calculados manualmente), sendo possível afirmar que os resultados fornecidos pelo App são ainda mais precisos do que estes últimos, uma vez que é isento dos erros de aproximação inerentes do processo de consulta de ábacos e gráficos. Isto posto, atesta-se que o CCC. *beta* 1.0 é uma ferramenta eficiente, simples e prática na determinação do traço unitário em peso de concretos convencionais.

Desse modo, pode-se concluir que o App CCC. *beta* 1.0 cumpre o objetivo de aprimorar a aprendizagem, sendo um recurso didático auxiliar durante as aulas do curso de Engenharia Civil. O arranjo entre teoria e prática será uma estratégia a mais para motivar os alunos e despertá-los para o conteúdo, conduzindo-os à análise crítica dos resultados por diferentes métodos de dosagem.

Como o CCC. *beta* 1.0 pode ser instalado nos *smartphones* Android, viabilizando a análise do traço do concreto diretamente no canteiro de obras, além dos estudantes de engenharia, os profissionais da área também serão beneficiados.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 12655: **Concreto de cimento portland — Preparo, controle e recebimento — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland. Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2, 439-471. 2005.

HELENE, P. TERZIAN, P. R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 350 p. 1992.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, properties and materials**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem de concreto**. ET-67. 3 ed. São Paulo: IBRACON – Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.