

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EM PLATAFORMA ANDROID PARA DOSAGEM DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Dylson Junyer de Souza Lopes¹; Hevla Kezia Mendonça Oliveira²; Anne Caroline Linhares Monteiro³; Hidelbrando José Farkat Diógenes⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte - junyer.lobes@hotmail.com

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido - keziahevla@hotmail.com

³Universidade Federal da Paraíba - anneclmonteiro@hotmail.com

⁴Universidade Federal da Paraíba - hidelbrando@ct.ufpb.br

Apesar do concreto atualmente ser o material mais utilizados na construção civil, com a necessidade de execução de estruturas cada mais duráveis, resistentes e esbeltas, este insumo continua sendo objeto de pesquisas que visam aprimorar as suas propriedades. Como resultado desses estudos surge o Concreto de Alta Resistência (CAR), classificado como um concreto especial, com uso de sílica ativa e aditivos superplastificantes. Segundo Almeida (1992) a incorporação conjunta desses materiais transformou os concretos correntes em verdadeiros superconcretos, com maior durabilidade e resistência superior. O uso do CAR tem viabilizado a execução de obras grandiosas, robustas e arrojadas. Apesar da potencialidade desse tipo de concreto, segundo o ACI 363R-92 (2001), a presença da sílica ativa e superplastificantes, bem como os fatores água/cimento muito baixos fazem com que o CAR tenha dosagem mais crítica e maior dificuldade de se trabalhar, se comparado ao concreto convencional. Frente à maior complexidade da dosagem e da reduzida difusão de metodologias de cálculo nas bibliografias disponíveis, há dificuldade na disseminação do seu emprego. Diante dessa problemática e do crescimento do uso de *softwares* no âmbito da engenharia, sobretudo os aplicativos móveis (Apps), surge a possibilidade da interação entre tecnologia e engenharia, de forma a aliar a praticidade e eficiência dos Apps à necessidade de buscar mecanismos que auxiliem a dosagem dos concretos tipo CAR. Desse modo, este trabalho tem como objetivo desenvolver um aplicativo intitulado CARApp *beta* 1.0 para dispositivo móvel em plataforma Android, capaz de fornecer as proporções de cimento, agregados, água, sílica e superplastificante no CAR, com base na resistência à compressão desejada. A partir do App deseja-se prover uma ferramenta auxiliar no processo de determinação do traço dos CAR e com isso estimular o seu emprego. Além dos estudantes de engenharia, espera-se que os profissionais da área também sejam beneficiados. Para atestar a credibilidade do App foram calculados diversos traços com uso do CARApp *beta* 1.0 e os valores fornecidos pelo aplicativo foram confrontados com traços obtidos a partir de uma segunda metodologia de dosagem sugerida por Aitcin (2000). A partir da comparação dos resultados, pôde-se verificar que os valores de saída do App são satisfatórios no que se refere à parte analítica da dosagem e à praticidade do aplicativo.

Palavras-chave: Concreto de Alta Resistência, Dosagem, Aplicativos móveis, Android.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP) [20--] *apud* Pedroso (2009), o consumo anual médio de concreto é de cerca de 1,9 toneladas por habitante, ficando atrás apenas do consumo de água, o que o torna o material construtivo mais utilizado do mundo.

O concreto pode ser classificado em três categorias baseadas na sua resistência à compressão:

- Concreto de Baixa Resistência: resistência à compressão inferior a 20 MPa;
- Concreto de Resistência Moderada: resistência à compressão entre 20 e 50 MPa;
- Concreto de Alta Resistência: resistência à compressão superior a 50 MPa.

O concreto de resistência moderada é o mais utilizado nas obras de construção civil, porém nota-se um aumento significativo do uso dos concretos de alta resistência (CAR). Devido à significativa redução do volume de concreto utilizado, vida útil prolongada e elevada resistência, o CAR possibilita a construção de estruturas mais esbeltas e de vãos cada vez maiores, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – a) Scotia Plaza; b) Ponte da Normandia



Fonte: a) WZMH¹; b) Mega Engenharia².

Apesar da utilização deste tipo de concreto ser bastante promissora, a técnica ainda é pouco difundida e um dos entraves é a complexidade do método de dosagem, se comparado aos métodos de concreto de resistência moderada.

¹ Disponível em: <http://www.wzmf.com/projects/scotia-plaza/>. Acesso: ago. 2017

² Disponível em: <http://megaengenharia.blogspot.com.br/2013/08/ponte-da-normandia-franca.html>. Acesso: ago. 2017

A dosagem nada mais é que a determinação das proporções de cimento, agregados, água e outros insumos, que garantem ao concreto as características necessárias ao seu pleno funcionamento, com o menor custo possível.

No Brasil, como a utilização do CAR ainda não é prática comum na indústria da construção civil, são recentes e escassos os estudos sobre métodos de dosagem. Segundo Pinto et al (2003), uma das consequências da falta de informações técnicas suficientes para a correta dosagem do CAR é a produção destes por meio de métodos para concretos convencionais, o que gera um concreto com elevado consumo de matéria-prima (principalmente cimento) e dificuldades técnicas de execução.

Segundo o ACI 363R-92 (2001), a dosagem do CAR é muito mais crítica se comparada a dos concretos convencionais, pois existe uma interveniência importante de outros materiais como sílica ativa e superplastificantes, além da dificuldade adicional de se trabalhar com fatores água/cimento muito baixos.

A sílica ativa é uma adição que melhora as propriedades do concreto garantindo o aumento da sua resistência, coesão e durabilidade, além de reduzir sua permeabilidade e porosidade. Segundo Mehta e Monteiro (1994) é muito difícil se obter concretos com resistências à compressão superiores a 59 MPa aos 56 dias sem o uso de sílica ativa. Tentativas nesse sentido implicam em consumos de cimento muito elevados com inevitáveis problemas, como excessivo calor de hidratação e grande retração.

Já os superplastificantes tem por função manter a trabalhabilidade do concreto com limites mínimos de água e máximos de cimento. Aïtcin e Adam (1995) afirmam que sem a aplicação de aditivos superplastificantes seriam impraticáveis relações água/cimento abaixo de 0,40, valores estes facilmente observados nos concretos CAR.

Almeida (1992) assegura que foi a incorporação conjunta da sílica ativa e superplastificantes que transformou os concretos correntes em verdadeiros superconcretos, com maior durabilidade e resistência superior.

Diante da dificuldade encontrada na dosagem dos CAR e do aumento do uso de *softwares* no âmbito da engenharia, sobretudo os aplicativos móveis (Apps), surge a possibilidade da interação entre tecnologia e engenharia, de forma a aliar a praticidade e eficiência dos Apps à necessidade de buscar mecanismos que auxiliem a dosagem destes concretos.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um App para dispositivo móvel em plataforma Android, intitulado CARApp *beta* 1.0, capaz de fornecer proporções de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água, sílica e superplastificante no concreto de

alta resistência, com base na resistência à compressão desejada. Com o App espera-se tornar mais simples a determinação do traço dos CAR e com isso estimular o seu emprego.

Além dos estudantes de engenharia, almeja-se que profissionais da área também sejam beneficiados. Com o App, a determinação do traço do concreto pode ser facilmente realizada nas obras, evitando a dosagem empírica, isto é, baseada apenas na experiência do engenheiro, o que para concretos de alta resistência não é recomendado pela NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.

2. METODOLOGIA

Após a realização de estudos preliminares, com ênfase nos concretos de alta resistência (CAR), optou-se por utilizar como base para este trabalho os métodos de dosagem Aïtcin (2000) e Thomaz e Carneiro (2008), que são metodologias experimentalmente comprovadas.

No método de Thomaz e Carneiro (2008) o traço do CAR pode ser obtido a partir da aplicação direta de equações preestabelecidas, logo essa foi a metodologia inserida no código de programação do aplicativo. Para verificar as respostas fornecidas pelo CARApp *beta* 1.0 foi utilizado o método proposto por Aïtcin (2000); essa metodologia é bastante difundida, o que garante maior confiabilidade na comparação dos resultados.

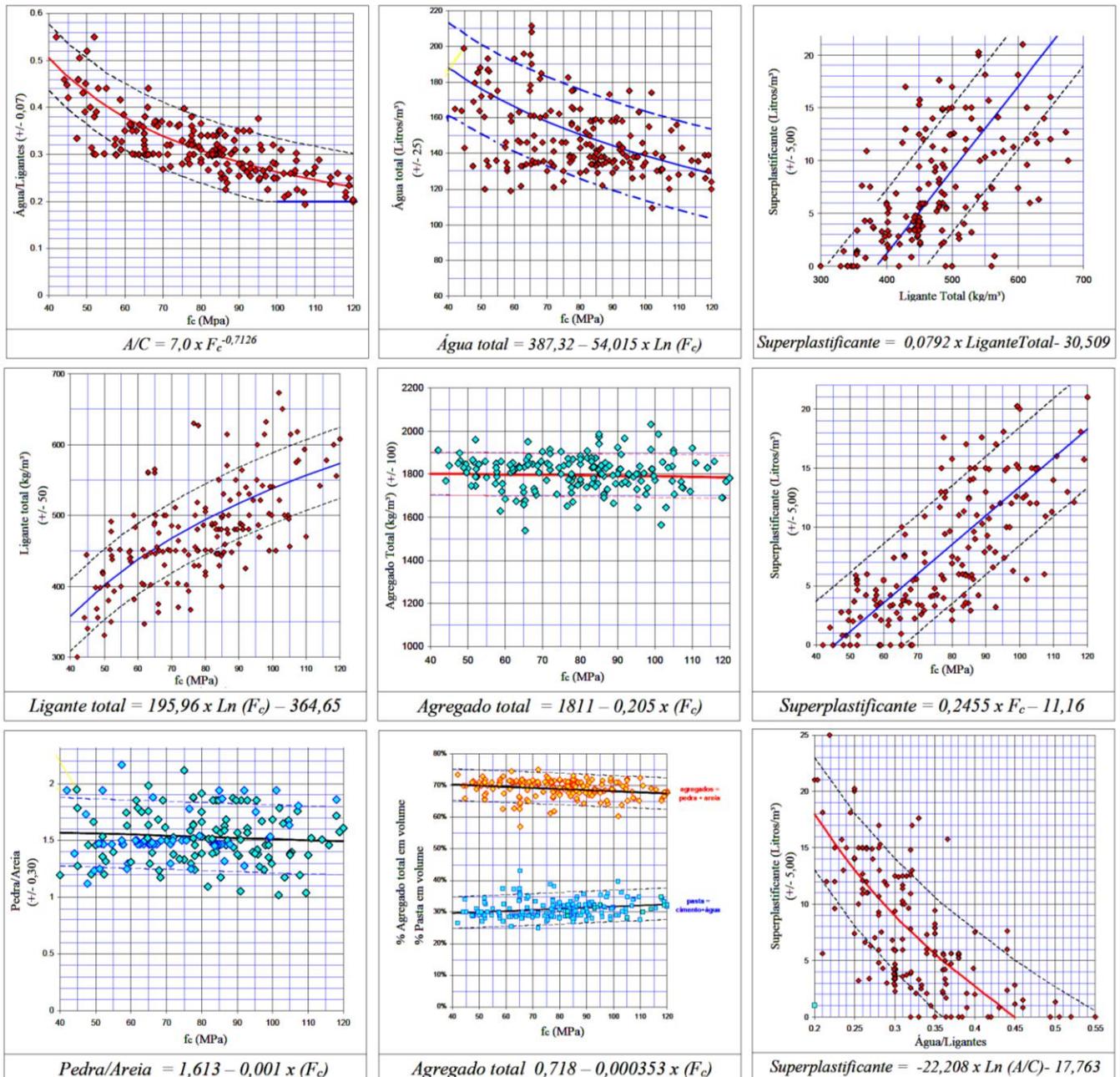
2.1 Dosagem do Concreto de Alta Resistência – Método Thomaz e Carneiro (2008)

Para conhecer os traços dos concretos de alta resistência que têm sido utilizados na prática Thomaz e Carneiro (2008) fizeram uma extensa revisão bibliográfica em diversas fontes. Com base nos resultados obtidos selecionaram cerca de duzentos traços de concretos com resistências médias maiores que 40MPa. Cerca da metade dos traços selecionados refere-se a grandes obras executadas em todas as partes do mundo, já a outra metade está relacionada a ensaios feitos em laboratórios de institutos de pesquisas.

Após um tratamento estatístico dos dados, Thomaz e Carneiro (2008) escolheram as correlações das diversas variáveis que definem o traço de concreto. De posse destas correlações os autores elaboraram uma estimativa da quantidade média de cada material componente do CAR, a partir do valor da resistência média do concreto (f_{cm}) aos 28 dias. As estimativas de traço obtidas por Thomaz e Carneiro (2008) têm sido testadas em pesquisas de laboratório com concretos de f_{cm} até 90MPa e os resultados estão sendo bastante satisfatórios.

A Figura 2 mostra os gráficos elaborados por Thomaz e Carneiro (2008) a partir dos dados coletados, bem como as equações obtidas após o tratamento estatístico.

Figura 2 - Dados obtidos por Thomaz e Carneiro (2008) em seus estudos sobre o traço dos CAR

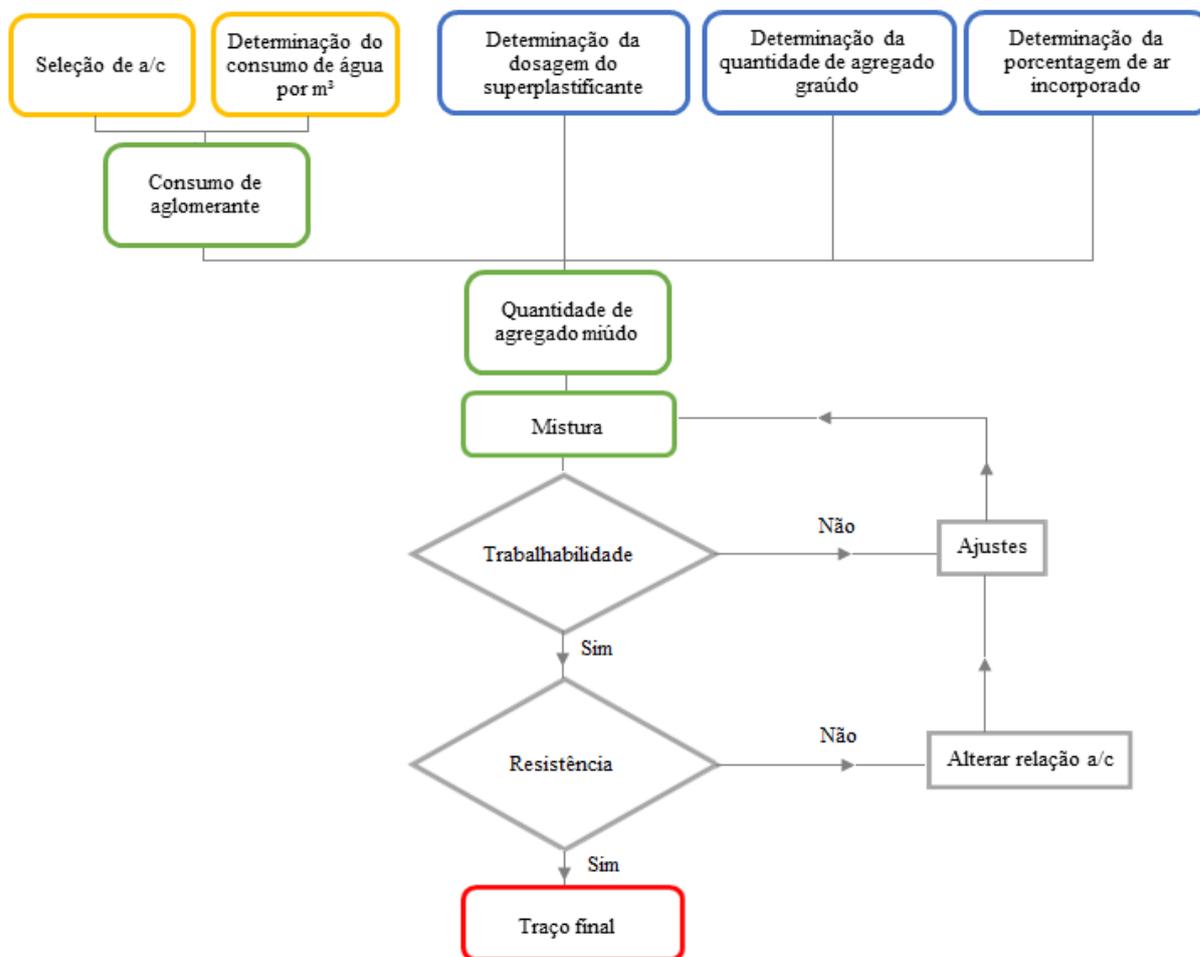


Fonte: Adaptado de Thomaz e Carneiro (2008)

2.2 Dosagem do Concreto de Alta Resistência – Método Aïtcin (2000)

Segundo Freitas Júnior (2005), o método proposto por Aïtcin (2000) é de simples execução e leva em consideração características dos materiais que outros métodos não utilizam. A Figura 3 apresenta um fluxograma da aplicação desse método.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de dosagem proposta por Aïtcin (2000)



Fonte: Adaptado de Aïtcin (2000)

Em amarelo encontram-se as variáveis que devem ser obtidas por meio de gráficos e ábacos. Nas células azuis estão os parâmetros que serão definidos a partir de recomendações de Aïtcin (2000). Os símbolos em cinza representam o processo de testes que devem ser feitos até que seja garantida a trabalhabilidade e a resistência do concreto; quando essas forem atingidas obtêm-se o traço final.

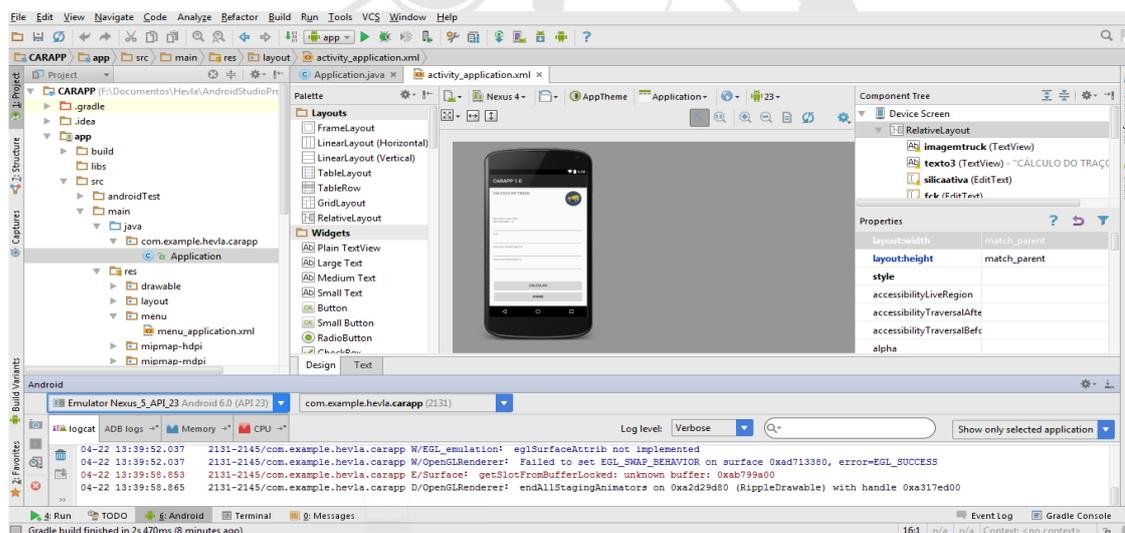
2.3 Desenvolvimento do CARApp *beta* 1.0 com base no Método Thomaz e Carneiro (2008)

Para o desenvolvimento do aplicativo CARApp *beta* 1.0 foi utilizado o Android Studio, 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*.

O Android Studio apresenta um ambiente de desenvolvimento robusto e direto. Por possuir diversos recursos, a edição do aplicativo é feita de forma simples e os testes de desempenho são executadas de maneira rápida, o que otimiza o desenvolvimento das aplicações. A Figura 4 mostra a interface do programa.

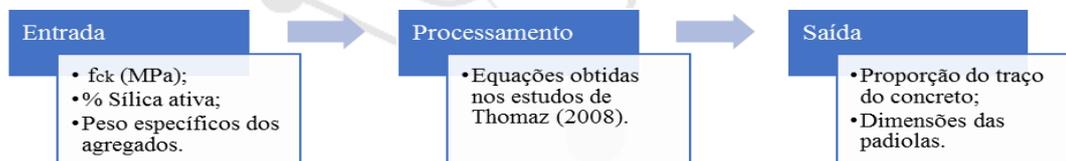
Neste plataforma a programação é feita em Java, uma linguagem orientada a objetos que desenvolve ambientes por meio de linhas de código inseridas pelo usuário.

Figura 4 - Ambiente de desenvolvimento do aplicativo CARApp *beta* 1.0



Na concepção de um programa computacional é necessário a inserção de dados de entrada, que precisam ser processados a fim de gerar uma resposta. Para o CARApp *beta* 1.0 o esquema de entrada, processamento e saída é feito segundo o fluxograma da Figura 5.

Figura 5 - Sequência de obtenção de dados no CARApp *beta* 1.0



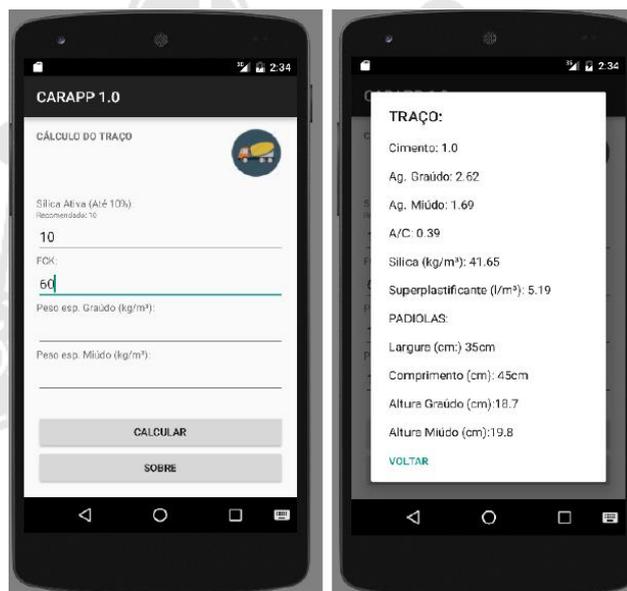
São dados de entrada: a resistência à compressão (fck), a porcentagem de sílica ativa e o peso específico dos agregados graúdo e miúdo. Já os dados de saída são basicamente a proporção do traço do concreto e as dimensões das padiolas que poderão ser utilizadas.

As padiolas nada mais são que recipientes com formato de paralelepípedos retangulares, utilizados para o transporte dos agregados. Neste trabalho, adotou-se as dimensões de base

iguais a 35 cm x 45 cm, como é normativamente recomendado. A partir dos volumes dos agregados graúdo e miúdo, obtidos do traço, é possível determinar a altura de cada padiola.

De posse das linhas de tendências e correlações (Figura 2) propostas por Thomaz e Carneiro (2008) e da ferramenta Android Studio foi possível desenvolver o CARapp *beta* 1.0. Na Figura 6 é apresentada a interface do App.

Figura 6 - Interface do CARApp *beta* 1.0 (tela de entrada e saída de dados)



É válido ressaltar que como o dado de entrada do App é a resistência característica do concreto (f_{ck}), enquanto as equações de Thomaz e Carneiro (2008) utilizam-se da resistência média à compressão (f_c), foi necessário incluir essa conversão na linha de código de programação. Conforme a NBR 12655:2015, para condições muito boas de preparo do concreto, indispensáveis para executar uma obra com CAR, a resistência média pode ser obtida pela Equação 1.

$$f_c = f_{ck} + 6,6 \quad (1)$$

2.4 Análise comparativa entre o CARApp *beta* 1.0 - Método Thomaz e Carneiro (2008) e o Aïtcin (2000)

Para fazer a comparação dos traços obtidos pelas duas metodologias foram consideradas as mesmas condições dos materiais, isto é, os mesmos dados de entrada, visando obter assim uma análise justa entre os métodos.

Com este fim, foram calculados os traços em proporção para concretos de resistência à compressão entre 50 e 120 MPa, variando seu valor de 10 em 10 MPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados obtidos para a dosagem em massa calculada no App CARApp *beta* 1.0 e conforme Aïtcin (2000), respectivamente.

Tabela 1 - Dosagem em massa - CARApp *beta* 1.0

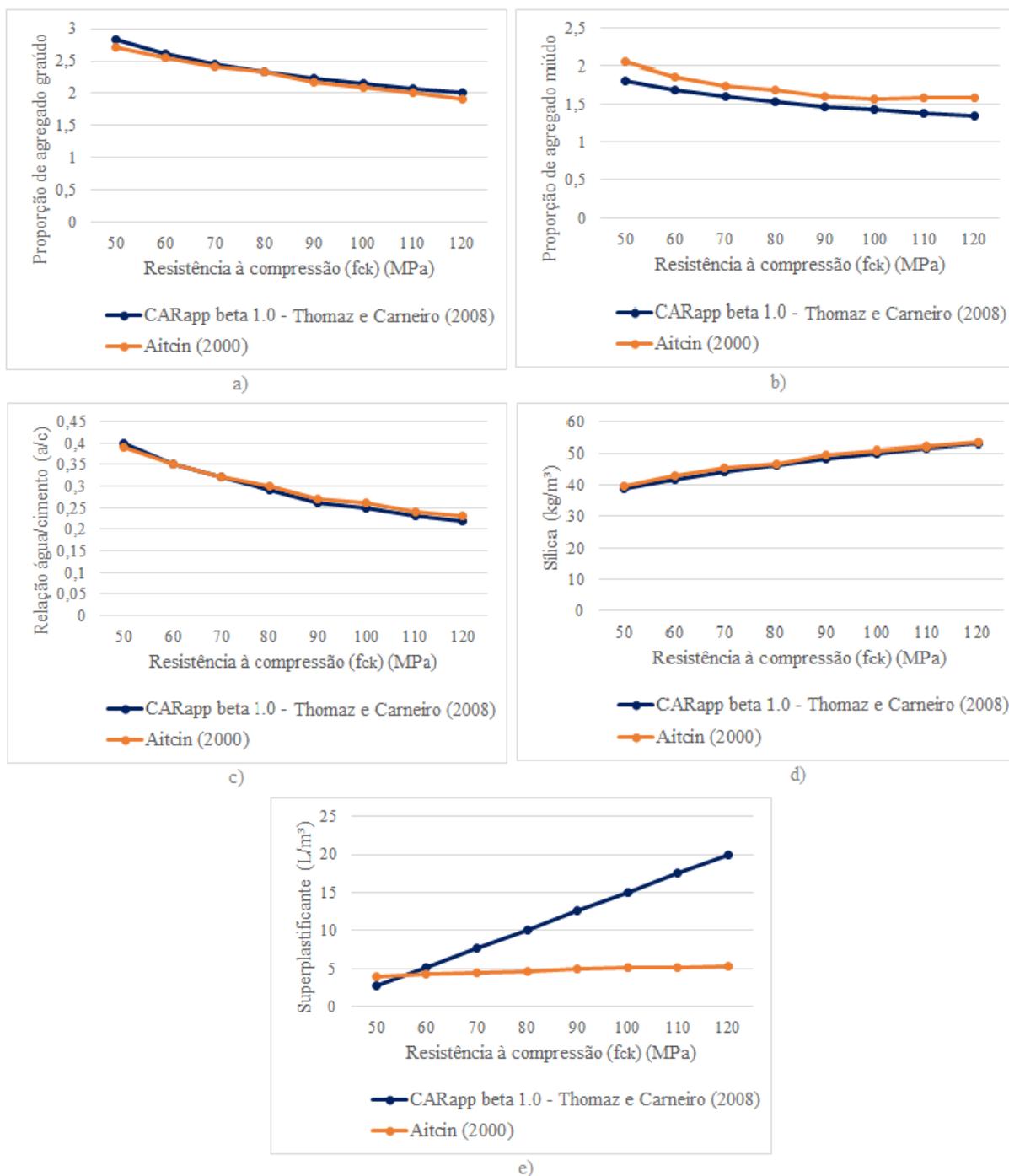
f _{ck} (MPa)	Cimento	Agregado		a/c	Sílica (kg/m ³)	Superplastificante (L/m ³)
		Graúdo	Miúdo			
50	1	2,83	1,82	0,40	38,75	2,74
60	1	2,62	1,69	0,35	41,65	5,19
70	1	2,46	1,6	0,32	44,14	7,65
80	1	2,34	1,53	0,29	46,33	10,1
90	1	2,24	1,47	0,26	48,27	12,56
100	1	2,15	1,43	0,25	50,03	15,01
110	1	2,08	1,39	0,23	51,62	17,47
120	1	2,01	1,35	0,22	53,09	19,92

Tabela 2 - Dosagem em massa - Aïtcin (2000)

f _{ck} (MPa)	Cimento	Agregado		a/c	Sílica (kg/m ³)	Superplastificante (L/m ³)
		Graúdo	Miúdo			
50	1	2,72	2,06	0,39	39,74	3,97
60	1	2,55	1,86	0,35	42,85	4,28
70	1	2,41	1,74	0,32	45,31	4,53
80	1	2,33	1,70	0,30	46,66	4,66
90	1	2,18	1,60	0,27	49,62	4,96
100	1	2,09	1,58	0,26	50,76	5,07
110	1	2,00	1,59	0,24	52,08	5,20
120	1	1,90	1,59	0,23	53,47	5,34

Os gráficos da Figura 7 ilustram os resultados apresentados nas tabelas acima. Como pode ser observado, nas Figuras 7.a, 7.b, 7.c e 7.d os valores obtidos para os agregados, relação a/c e sílica nos dois métodos foram bastante próximos. Para o agregado graúdo o erro variou entre 0,43% e 5,47%; para o agregado miúdo esse valor foi um pouco maior, oscilando entre 8,75% e 17,78%; na relação água/cimento para as resistências de 60 MPa e 70 MPa os valores coincidiram nos dois métodos e para 120 MPa foi atingido o erro máximo de 4,55%; no caso da sílica a divergência mínima foi de 0,71% e a máxima de 2,88%.

Figura 7 - Comparação entre os parâmetros obtidos pela dosagem no CARApp *beta* 1.0 e Aitcin (2000)



Para o volume de superplastificante por m³ esse comportamento não foi observado, contrariamente, nota-se uma considerável discrepância entre as curvas da Figura 7.e. Para esse parâmetro o erro variou de 17,53% a 73,19%. Esta considerável diferença era esperada, uma vez que ambas as metodologias sugerem que este material seja dosado pouco a pouco até que

se atinja a trabalhabilidade adequada, ou ainda, que sejam seguidas as orientações do fabricante, já que há variações na composição entre as empresas fornecedoras desse material.

Enquanto o método utilizado por Aïtcin (2000) se configura por meio de correlações geradas por rompimentos de corpos de provas, o CARApp *beta* 1.0 (Thomaz e Carneiro (2008)) apresenta um procedimento mais empírico. Apesar das metodologias serem distintas, ambas são consagradas, testadas e aceitas. Dessa forma, os resultados obtidos a partir do CARApp *beta* 1.0 são válidos para as análises empíricas.

Uma vez consideradas as condições dos materiais durante o preparo do concreto, como por exemplo, a correção do fator a/c no momento da mistura, o aplicativo fornecerá resultados muito próximos da realidade. Nesse sentido, é válido ressaltar que ainda que o aplicativo seja uma ferramenta eficiente no processo de dosagem do CAR, deve-se ter atenção especial no modo de preparo e de aplicação, bem como na qualidade de material, pois, em geral, são esses os fatores mais comuns para o insucesso do uso desse tipo de concreto.

4. CONCLUSÕES

Apesar de existir, no meio acadêmico, certo domínio das metodologias de dosagem do CAR, ainda não é possível observar sua utilização em larga escala, exceto em obras especiais. Por entender que o maior limitador de sua utilização é a falta de conhecimento dos engenheiros de obra sobre a dosagem dos CAR, o presente trabalho se torna um facilitador para a utilização desse tipo de concreto nas obras correntes.

Quanto ao método descrito por Aïtcin (2000), o aplicativo desenvolvido segundo a metodologia de Thomaz e Carneiro (2008) apresentou valores próximos, o que confirma que as metodologias são congruentes. Ainda assim, é importante garantir as condições do ambiente e materiais, para que se obtenha o concreto com a resistência desejada.

Por fim, é possível atestar que os traços obtidos por meio do CARApp *beta* 1.0 são consistentes, uma vez que as metodologias utilizadas são testadas experimentalmente e deverão proporcionar a resistência requerida do concreto quando elaborado nas devidas condições de preparo e aplicação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. Tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini. 2000.

AÏTCIN, P. C., ADAM. **120 MPa sem mistério**. Revista Técnica. Nov./Dez. São Paulo, PINI. 5p. 1995.

ALMEIDA, I. R. **Concretos de Alto Desempenho. A Evolução Tecnológica dos Concretos Tradicionais**. Anais do 1º seminário fluminense de engenharia. Editados pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Niterói (RJ). p. 113-116. 1992.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 363R-92 (Reapproved 1997) **State-of-the-art report on highstrength concrete**. ACI Manual of Concrete Practice 2001. ACI, Detroit (USA). 55 p. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

FREITAS JÚNIOR, J. A. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência com o uso de materiais disponíveis na região Metropolitana de Curitiba**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**. São Paulo. Pini. 1994.

PEDROSO, F. L. **Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo**. Concreto e construções. IBRACON. n. 53. mar. 2009.

PINTO, R. O., GEYER, A. L. B., LOPES, A. N. M. L. **Utilização de métodos de dosagem específicos para concretos de alto desempenho (CAD)**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo, 2003.

THOMAZ, E. C. S., CARNEIRO, L. A. V. **Concretos de Alta Resistência: Tendências sobre Composições**. Revista IBRACON, 2008.